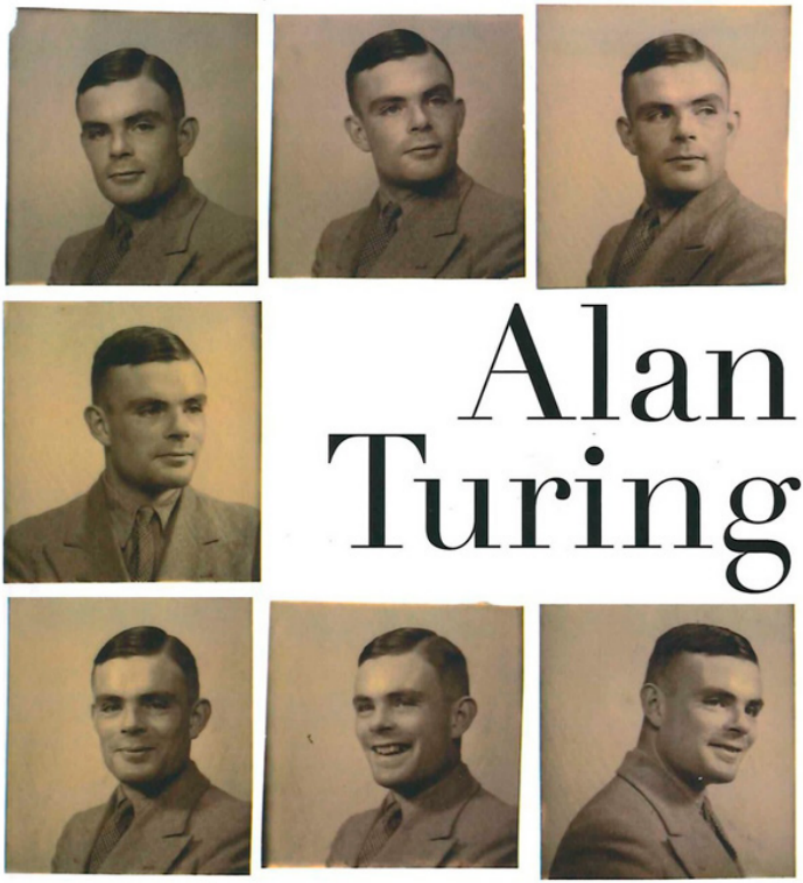
El hombre que sabía demasiado



Alan Turing

David Leavitt

Para resolver uno de los grandes problemas de su tiempo, Alan Turing propuso una imaginaria máquina de calcular programable. Sin embargo, la idea de producir una «máquina Turing» no cuajó hasta que Turing consiguió descifrar el código Enigma de los nazis, permitiendo así la victoria de los Aliados durante la segunda guerra mundial.

Con la idea de su máquina, Turing se convirtió en el paladín de la inteligencia artificial, formulando el célebre Test de Turing, que pone en cuestión nuestras nociones simples sobre la conciencia humana.

Sin embargo, los trabajos de Turing durante la posguerra se vieron truncados cuando, en su calidad de homosexual declarado en una época en que la homosexualidad era oficialmente ilegal en Inglaterra, fue detenido por las autoridades y condenado a someterse a un «tratamiento» que venía a ser una castración química y que le condujo al suicidio.

David Leavitt

El hombre que sabía demasiado

Alan Turing y la invención de la computadora

ePub r1.0
Titivillus 09.01.2021

Título original: *The Man Who Knew Too Much: Alan Turing and the Invention of the Computer*
David Leavitt, 2006
Traducción: Federico Corriente Basús
Fotografía de cubierta: Archive Centre, King's College, Cambridge

Editor digital: Titivillus
ePub base r2.1

Para Mark, amigo, camarada, compañero

1
El hombre del traje blanco

En la comedia cinematográfica de Alexander Mackendrick, *El hombre del traje blanco* (1951), Alec Guiness interpreta a Sidney Stratton, un químico indeciso, infantil incluso, que inventa un tejido que jamás se desgasta ni se ensucia. Su invento es acogido como un gran paso hacia delante… hasta que los propietarios de la fábrica de textiles en la que trabaja, junto con los miembros de los sindicatos que representan a sus colegas, se dan cuenta que les arruinará el negocio. Muy pronto los eternos antagonistas hacen causa común para atrapar a Stratton y destruir su tejido, que lleva puesta en forma de traje blanco. Lo persiguen, lo acorralan y parecen a punto de asesinarlo cuando, en el último instante, el traje comienza a desintegrarse. El fracaso salva a Stratton de la industria para la que se ha convertido en amenaza y salva también a la industria en cuestión de la obsolescencia.

Ni que decir tiene que cualquier paralelismo que quiera trazarse entre Sidney Stratton y Alan Turing —matemático inglés, inventor de la computadora moderna y arquitecto de la máquina que descifró el Código Enigma alemán durante la Segunda Guerra Mundial— sería forzosamente inexacto. Para empezar, semejante paralelismo exigiría que considerásemos a Stratton (sobre todo en la

interpretación del mismo ofrecida por Guiness, que era homosexual) cuando menos como una figura protohomosexual, a la vez que interpretamos el acoso al que fue sometido como metáfora de la persecución más generalizada de la que fueron objeto los homosexuales en Inglaterra antes de 1967, antes de la despenalización de los actos de «ultraje a la moral pública» entre varones adultos. Evidentemente, ésta es una lectura de *El hombre del traje blanco* que no todos los admiradores de la obra aceptarían, y que suscitaría las protestas de más de uno. Trazar un paralelismo entre Sidney Stratton y Alan Turing también requeriría que obviásemos una diferencia decisiva entre ambos científicos: en tanto que Stratton fue acosado debido a su descubrimiento, Turing lo fue a pesar del mismo. Lejos de ser el fracaso representado por el traje blanco de Stratton, las máquinas de Turing —tanto hipotéticas como reales— no sólo inauguraron la era de la informática sino que también desempeñaron un papel crucial en la victoria aliada sobre Alemania durante la Segunda Guerra Mundial.

¿Por qué, pues, insistir en exceso sobre esa comparación? Únicamente, en mi opinión, porque *El hombre del traje blanco* tiene tanto que decirnos acerca de las condiciones que determinaron la breve trayectoria vital de Alan Turing: la homosexualidad, la imaginación científica y la Inglaterra de la primera mitad del siglo XX. Al igual que Stratton, Turing era ingenuo, distraído y vivía completamente de espaldas a las fuerzas que lo amenazaban. Como Stratton, trabajaba solo. Como Stratton, le interesaba el engarce entre la teoría y la práctica, y abordaba las matemáticas desde una perspectiva que reflejaba los valores industriales de la Inglaterra en la que se crió. Y por último, como Stratton, Turing fue «acosado hasta ser expulsado del mundo» [1] por fuerzas que veían en él un peligro, de forma muy semejante al modo en que el héroe epónimo del *Maurice* de E. M. Forster teme ser «acosado hasta ser expulsado del mundo» si se descubre su homosexualidad. Considerado como riesgo para la seguridad a causa de su heroica labor durante la Segunda Guerra Mundial, Turing fue detenido y juzgado un año después del estreno de *El hombre del traje blanco*, acusado de ultraje a la moral pública en compañía de otro hombre. Como alternativa a la condena de reclusión, se le obligó a someterse a una humillante sucesión de

inyecciones de estrógenos con la pretensión de «curarlo». Finalmente, en 1954, se suicidó mordiendo una manzana rociada en cianuro, guiño aparente a la manzana envenenada de una de sus películas favoritas, la versión Disney de *Blancanieves y los siete enanitos*, y a la que tanta importancia han atribuido quienes han escrito acerca de Turing con posterioridad.

En una carta escrita a su amigo Norman Routledge hacia el final de su vida, Turing relacionó su detención con sus logros en un extraordinario silogismo:

> Turing cree que las máquinas piensan
>
> Turing yace con hombres
>
> Luego las máquinas no piensan **[2]**

Su temor parece haber sido que su homosexualidad habría sido empleada no sólo contra él sino también contra sus ideas. Tampoco fue casual su elección de la antigua locución bíblica «yacer con»: Turing tenía plena conciencia del grado en que tanto su homosexualidad como su fe en la inteligencia de los ordenadores constituían una amenaza para la religión establecida. Al fin y al cabo, su empeño en poner en duda la exclusividad del género humano en lo referente a la facultad del pensamiento atrajo sobre él un aluvión de críticas en el transcurso de la década de 1940, quizá porque su reivindicación del *fair play* con respecto a las máquinas contenía en clave una sutil crítica de las normas sociales que negaban a otro sector de la población —la de los hombres y mujeres homosexuales— el derecho a la existencia legítima y legal. Pues Turing —hecho notable, dada la época en que llegó a la mayoría de edad— parece haber dado por hecho que no había nada *malo* en absoluto en ser homosexual y, más notable aún, dicha convicción permeó incluso algunas de sus especulaciones matemáticas más crípticas. Hasta cierto punto, su capacidad para establecer conexiones inesperadas reflejaba la naturaleza asombrosamente original —y a la vez asombrosamente literal— de su imaginación. Y no obstante, también se debió, al menos en parte, a su educación en Sherborne School, en el King's College, durante los años de apogeo de E. M. Forster y John Maynard Keynes, y en Princeton durante el

reinado de Einstein, a su participación en el célebre curso de Wittgenstein acerca de los fundamentos de las matemáticas y a su trabajo secreto para el gobierno en Bletchley Park, donde la necesidad de lidiar cotidianamente con una esquiva clave alemana ejercitó su ingenio y le obligó a flexibilizar aún más una mente ya ágil.

La secuela de su detención y de su suicidio fue que durante años su contribución al desarrollo de la computadora moderna fue minimizada y en algunas ocasiones obviada por completo, atribuyéndose a John von Neumann, su profesor en Princeton, la paternidad de ideas que en realidad tenían su origen en Turing [1*]. En efecto, sólo tras la desclasificación de documentos relativos a su trabajo en Bletchley Park y la posterior publicación de la magistral biografía de Andrew Hodges en 1983, empezó a hacérsele justicia a este gran pensador. Ahora se le reconoce como a uno de los científicos más importantes del siglo XX. Aun así, la mayoría de interpretaciones populares de su obra o bien omiten toda mención de su homosexualidad o la presentan como una mancha desagradable y en última instancia trágica en una carrera por lo demás estelar.

La primera vez que oí hablar de Alan Turing fue a mediados de la década de los ochenta, época en la que se le evocaba a menudo como una especie de mártir de la intolerancia inglesa. Pese a haber pasado por un curso elemental de cálculo diferencial en el instituto, en la universidad y en mi vida posterior me esforcé por evitar las matemáticas. Me esforcé aún más por evitar la informática incluso a pesar de que, como la mayoría de estadounidenses, mi dependencia de los ordenadores iba en aumento. Entonces comencé a leer más acerca de Turing y, para gran sorpresa mía, descubrí mi fascinación tanto por su obra como por su vida. En el seno de la sobrecogedora masa de letras griegas y alemanas, de símbolos lógicos y fórmulas matemáticas que poblaban las páginas de sus papeles, yacía la prosa de un escritor especulativo y filosófico al que no le importaba preguntarse si a un ordenador le gustarían las fresas con nata o resolver un antiguo y molesto problema de lógica por medio de una máquina imaginaria que imprimiese unos y ceros sobre una cinta infinita, o en aplicar los principios de la matemática pura a la tarea práctica de descifrar un código.

Alan Turing salvó el abismo entre el deliciosamente inútil y (para la mayoría de personas) remoto paisaje de la matemática pura y el mundo fabril de la industria, en el que la capacidad de una máquina de multiplicar enormes números primos, o recorrer decenas de miles de posibles sustituciones de letras en busca de un emparejamiento, o ayudar en la ingeniería de un puente significa la diferencia entre el éxito y el fracaso financieros, y en algunos casos, la diferencia entre la vida y la muerte. Con todo, sería engañoso sostener que Turing consideró su deber o su vocación salvar dicho abismo; al contrario, el camino que tomó, y que le condujo de la lógica matemática a la construcción de máquinas fue accidental, y el único mapa que empleó fue el que le proporcionó su muy particular cerebro, en algunos aspectos peculiar y en todos ellos excéntrico. Era la antítesis del hombre de empresa y, de haber sido en algunos sentidos de la palabra, más «normal», es posible que jamás hubiera realizado tantos avances. Fue su situación marginal la que le permitió efectuar los saltos creativos que marcaron su carrera y transformaron el mundo.

En un breve recuerdo publicado a finales de la década de los cincuenta, Lyn Irvine, novelista y esposa del matemático Max Newman, escribía acerca de Turing: «Desde luego, Alan era más ajeno a los siglos XVIII y XIX que la mayoría de sus contemporáneos. Es preciso remontarse tres siglos (o dos quizá) para ubicarle…» [3]. Su reconocimiento de Turing como una figura perteneciente tanto al pasado como al futuro es muy perspicaz, en la medida en que subraya su fracaso en encontrar un hueco para sí mismo en la época en la que nació. «Nunca parecía encajar del todo en su ropa» [4], añade algunos párrafos más adelante

> ni en su Burberry, gastada, sucia y una talla demasiado pequeña, ni tampoco cuando se esmeraba y se ponía una camisa blanca limpia o su mejor traje de *tweed* azul. Una bata de alquimista o una cota de malla le habrían ido bien: la primera habría encajado con su actitud abstracta, y la segunda con aquella cabeza oscura y poderosa, con aquella barbilla que parecía la proa de una nave y esa nariz corta y curva, como la de un animal inquisitivo. La cota de malla también habría

hecho juego con sus ojos, azules hasta un punto que rivalizaba con la brillantez de una vidriera.

El alquimista tomaba principios lógicos, cable y circuitos electrónicos, y con ellos fabricaba una máquina. El caballero defendía el derecho de dicha máquina a tener un futuro.

Ojalá hubiese sido capaz de salvarse a sí mismo.

2
Ver crecer las margaritas

1

Era hijo del imperio y de la clase media inglesa. Su padre, Julius, fue funcionario en la India, y Turing fue concebido en Chatrapur, cerca de Madras. Julius y Ethel Sara Turing regresaron a continuación a Inglaterra, donde, el 23 de junio de 1912, en una clínica de maternidad de Paddington, nació su segundo hijo. Su nombre completo era Alan Mathison Turing. De acuerdo con su madre, «A Alan le interesaron las cifras —sin asociación matemática alguna— antes de saber leer, y se fijaba en los números de las farolas, etc»[1]. Era aficionado a inventarse palabras: *quockling* para el sonido de las gaviotas al pelearse por la comida, *greasicle* para el parpadeo de una vela ante una corriente de aire, y *squaddy* para alguien rechoncho y fornido. Al parecer, tuvo serios problemas para asimilar la noción del calendario y reconoció más tarde que de niño era «completamente incapaz de prever la fecha de llegada de la Navidad. Ni siquiera era consciente de que lo hacía a intervalos regulares»[2].

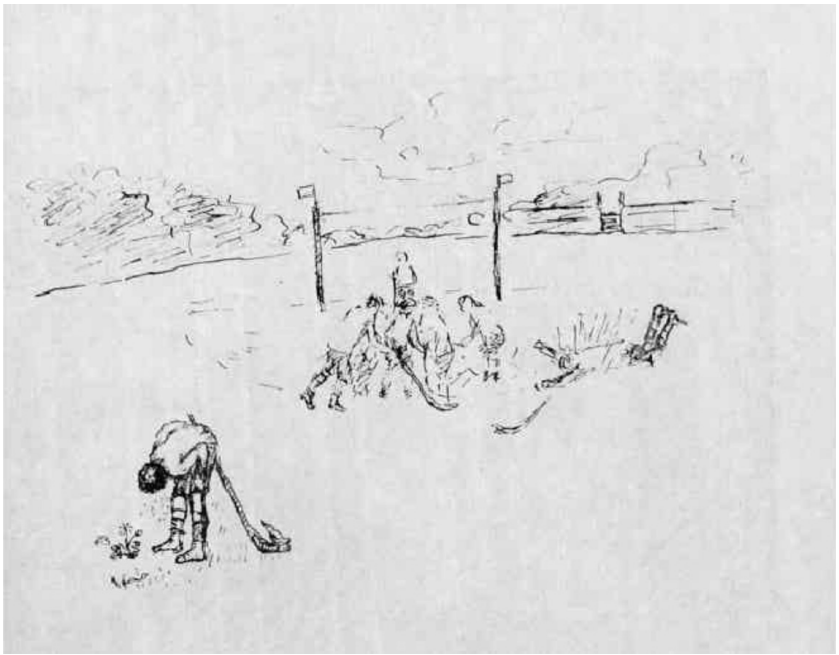
Cuando tenía seis años, le enviaron a un pequeño colegio

llamado Hazelhurst. Ya había comenzado a mostrar un embrionario interés por la ciencia y, según su madre, en una ocasión preparó cuidadosamente «una mezcla para curar las ronchas de ortigas cuyo principal ingrediente eran hojas de acedera, cuya fórmula anotó con toda seriedad y con pleno sentido de su importancia»[3]. También se propuso compilar un «enciclopedio» [*sic*] y a los ocho años escribió lo que su madre denomina «la obra científica más breve de la que existe constancia», *Acerca de un microscopio*, cuyo texto completo consistía en la frase «*First you must see that the lite is rite*»[1*] [4]. La señora Turing nos relata a continuación, con bastante modestia por su parte, que ella misma le enseñó a hacer divisiones largas, haciendo notar que «de niño siempre trató de asimilar los principios básicos y aplicarlos. Tras haber aprendido a hallar la raíz cuadrada de un número dado en el colegio, dedujo él sólo cómo hallar la raíz cúbica». Un retrato realizado por ella en la primavera de 1923 muestra al joven Alan de pie en el campo de *jockey*, palo en mano, inclinado sobre unas flores (en cuyo pie puede leerse: «El *jockey*, o ver crecer las margaritas») mientras que una canción de fin de curso de Hazelhurst incluía un pareado tan indicativo de sus talentos como representativo de su actitud hacia los deportes:

> *Turing's fond of the football field*
> *For geometric problems the touch lines yield*[5] [2*]

En 1922 le obsequiaron con un libro llamado *Natural Wonders Every Child Should Kong [Maravillas naturales que todo niño debe conocer],* de Edwin Tenney Brewster. Para explicar la biología, la evolución y la naturaleza, Brewster recurría a la metáfora (muy reñida con el título de su libro) de las máquinas. A Turing se le quedó grabada la noción de que el cuerpo —y el cerebro en particular— podía considerarse como una máquina e influyó en el curso de sus trabajos ulteriores. Es posible que el libro de Brewster también pusiera en marcha su alergia a la imprecisión, que quedó de manifiesto en una carta dirigida a su hermano John, en la que relataba que el maestro de matemáticas de Hazelhurst había dado «una impresión muy errónea de lo que significa *x*»[6].

Como explica su madre, el empeño del maestro en definir x «hasta encasillarla de forma excesivamente determinada y concreta para la incipiente mente de lógico de Alan»[7] perturbó a su hijo, al menos en parte porque temía que de algún modo indujera a los demás muchachos de su curso a error.



El jockey, o ver crecer las margaritas, dibujado por Sara Turing y enviado a Miss Dunwall, profesora en Hazelhurst School, en la primavera de 1923. (King's College, Cambridge).

Después de Hazelhurst, fue enviado a Sherborne, uno de los primeros *public schools* y tema de la novela *The Loom of Youth*, escrita en 1917 por Alec Waugh. Como la mayoría de *public schools*, Sherborne aspiraba a ser lo que E. M. Forster denominaba «un universo en miniatura»[8], afanándose por inculcar a sus alumnos los valores sociales y políticos de la construcción imperial británica así como por reproducir la mayoría de sus hipocresías, sus prejuicios y su doble moral. La experimentación sexual, así como

los amoríos entre los muchachos mayores y los más pequeños, ocupaban un lugar destacado en la vida de las *public schools*, a pesar de que sus administradores condenasen como indecentes tales comportamientos. Es más, en 1908 C. K. Scott-Moncrieff, que más tarde llegaría a ser el traductor al inglés del *A la recherche du temps perdu*, de Proust, fue expulsado de su *public school*, Winchester, tras publicar un relato titulado «Evensong and Morwe Song» en *New Field*, la revista literaria de la escuela. La historia trataba en forma explícita acerca de las aventuras románticas y sexuales entre alumnos varones, así como de la violenta reacción del director cuando la aventura queda al descubierto.

El primer trimestre de Turing en Sherborne comenzó al mismo tiempo que el estallido de la huelga general de 1926; había pasado el verano en Francia, y puesto que los trenes no circulaban, tuvo que recorrer noventa y cinco kilómetros en bicicleta hasta Sherborne desde Southampton, tarea que asumió con buen humor y con escasa ansiedad. De acuerdo con un informe del profesor encargado de su residencia, el señor O'Hanlon, hacia el trimestre del verano de 1927, sus matemáticas, en las que había comenzado con buen pie «no eran demasiado buenas. Pasa mucho tiempo dedicándose a investigaciones de matemática avanzada y desatiende las tareas elementales»[9]. Así, se tomó el tiempo de desentrañar, completamente sólo, las series de Gregory para $\tan^{-1}x$, sin darse cuenta de que Gregory se le había anticipado en dos siglos. Como relataría la señora Turing, aquel descubrimiento «fue motivo de satisfacción para el propio Alan… cuando preguntó si su serie era correcta, el coronel Randolph, su maestro de matemáticas, pensó en un principio que Alan tuvo que haberlo sacado de un libro de la biblioteca»[10]. El coronel le dijo más tarde a su madre que, a pesar de su originalidad, el jefe de estudios de Turing «se quejó de que sus trabajos estaban tan mal presentados que debería haber sido expulsado».

El señor Novell Smith, el director de Sherborne, le llamaba «el alquimista», en parte a consecuencia de un informe del final del trimestre de otoño de 1927, en el transcurso del cual O'Hanlon había escrito: «No cabe duda de que es muy enervante: y a estas alturas debería saber que no me gusta encontrármelo preparando en el alféizar quién sabe qué endiablado brebaje con la ayuda de dos

velas parpadeantes»[11]. De acuerdo con la señora Turing, «lo único de lo que se arrepentía Alan era de que la señora Hanlon no pudiera ver los bellísimos colores producidos por la ignición del vapor desprendido por la grasa supercaliente de la vela». De haber apagado la vela el viento, el resultado habría sido, por tomar prestado la nomenclatura del propio Turing, un *greasicle*.[3*]. Por supuesto, nadie habría podido prever el ominoso presagio que acarrearía el término «brebaje»[4*] tanto para la vida de Turing como para su muerte.

Fue en Sherborne cuando por primera vez empezó a dar muestras de la obstinada literalidad que más adelante le traería tantos problemas, a pesar de que le conduciría también a sus descubrimientos intelectuales más asombrosos. Por ejemplo, cuando le preguntaron durante un examen «¿cuál es el *lugar geométrico* de tal y cual?»[12] (el eufemismo es de su madre), en lugar de suministrar la prueba que se le pedía, se limitó a escribir «El lugar geométrico es tal y tal». Más tarde, cuando la señora Turing preguntó por qué no se había molestado en redactar la demostración, respondió que lo único que le habían preguntado era «¿cuál es el *lugar geométrico*?». Y había respondido a la pregunta. Se había limitado a hacer lo que le pedían.

Su vida estuvo jalonada de semejantes episodios. Durante la Segunda Guerra Mundial, se alistó en la sección de infantería de la *Home Guard* (la milicia local voluntaria) para poder aprender a disparar. Cuando en uno de los formularios le preguntaron «¿Comprende usted que al alistarse en la *Home Guard* está sujeto a la jurisdicción militar?» respondió que no, pues no se le ocurría qué ventaja pudiera tener contestar afirmativamente. Se sometió al entrenamiento y se convirtió en un tirador de primera, como luego recordaría su amigo Peter Hilton, pero a medida que la guerra se aproximaba a su fin, perdió interés por la *Home Guard* y dejó de asistir a los desfiles, momento en el cual fue convocado por las autoridades para explicar sus ausencias. Como es natural, el oficial que le entrevistaba le recordó que como soldado tenía el deber de asistir a los desfiles, a lo que Turing respondió: «Pero si yo no soy soldado». Y en efecto, no lo era. Debido a que había respondido negativamente a la pregunta del formulario, en realidad no estaba

sujeto a la jurisdicción militar y por tanto no tenía obligación alguna de asistir a los desfiles. Como observa Andrew Hodges, esta «estratagema del tipo *A través del espejo* de tomarse las instrucciones al pie de la letra» condujo a un follón de idéntico calibre cuando se descubrió que la tarjeta de identificación de Turing estaba sin firmar; en su defensa alegó que «había recibido instrucciones de no escribir nada en ella»[13].

Por supuesto, desde el punto de vista de la lógica matemática, en cada uno de estos casos Turing se comportó con la más absoluta corrección. La lógica matemática se diferencia del discurso humano ordinario en que sus afirmaciones a la vez significan lo que dicen y dicen lo que significan, motivo por el cual es poco probable que una frase del tipo «No te preocupes por recogerme, volveré caminando entre el aguanieve sobre mi pierna mala» llegue a figurar en un manual de lógica. El señor Spock, de *Star Trek*, era célebre por su insensibilidad a las insinuaciones, los dobles sentidos y la agresividad pasiva, y Turing, que a menudo se metía en líos a cuenta de su incapacidad para «leer entre líneas» tenía más de un toque del señor Spock.

Hechas estas salvedades, en Sherborne no le fue tan mal. Era un atleta aceptable, y aunque en una ocasión tuvo que lidiar con un maestro que gritaba «¡Esta habitación apesta a matemáticas! ¡Salga y vaya a buscar un *spray* desinfectante!»[14], por regla general sus profesores y compañeros apreciaban su talento y le animaban a ahondar en él. (Los profesores, no obstante, se quejaban de forma regular de lo desordenado de sus trabajos). Incluso hizo algunos amigos, entre ellos Victor Beuttell, cuyo padre, Alfred Beuttell, había inventado en 1901 un artilugio llamado la «lámpara reflectora de tubo eléctrica Linolite»[15]. En 1927 Beuttell trabajaba en un nuevo invento, el «sistema de iluminación del rayo K», que tenía por objeto proporcionar una iluminación uniforme a las fotografías y los carteles. Cuando le pidió a Turing que le ayudase a hallar una fórmula para determinar cuál debía ser la curvatura correcta del vidrio utilizado, el muchacho no sólo dio con una inmediatamente sino que le hizo observar que el grosor del vidrio también afectaría la iluminación, cosa que nadie más había notado. Agradecido, Beuttell hizo los cambios necesarios, y muy pronto el sistema de iluminación entró en proceso de fabricación.

Unos años después, en Cambridge, Turing le daría a su amigo Fred Clayton «la impresión de que se podía contar con las *public schools* para adquirir experiencia sexual»[16]. Cuánta experiencia obtuvo exactamente en Sherborne sigue sin estar claro, a pesar de una referencia nada ambigua, en las memorias de la señora Turing, a que llevaba un «diario privado guardado bajo llave»[17] que otro muchacho, «como diablura o por algún otro motivo» robó y forzó. El anónimo autor de tal acción «dañó de modo irreparable el libro, en el cual probablemente figuraban investigaciones matemáticas. Este acto gratuito probablemente nos haya despojado de valiosos datos con los que podría haberse seguido la pista de su evolución temprana». La señora Turing concluye diciendo que aquella pérdida «perturbó mucho a Alan» pero no se plantea qué «otro motivo» podría haber desempeñado un papel.

El mejor amigo de Turing en Sherborne fue Christopher Morcom, muchacho, al igual que él, prodigiosamente dotado para las ciencias, y al que conoció en 1928. La relación de ambos floreció en torno a las pautas de la trayectoria clásica de la «amistad romántica» decimonónica, puntuada por oleadas de arrebatos emocionales —Turing llegó a escribir que «veneraba la tierra hollada por sus pies [los de Morcom]»[18]— pero con una dosis de matemáticas de por medio; es decir, que cuando estaban juntos, era más probable que los muchachos hablasen de la relatividad y del valor de π —calculado por Turing, en su ratos libres, en treinta y seis puntos decimales— que de poesía. A pesar de temática tan árida en apariencia, al menos para Turing, aquellas conversaciones desbordaban intensidad poética. Ironías de la vida: unas décadas antes un médico estadounidense había recomendado el estudio de las matemáticas como cura para la homosexualidad[19].

Es probable que Christopher Morcom no fuera homosexual. En el caso de que la relación hubiese perdurado más allá de Sherborne, hasta Cambridge, donde Chris obtuvo la plaza del Trinity College codiciada por Alan, podría muy bien haber terminado de la misma forma que tantas otras de sus amistades: con un rechazo cortés pero firme de los avances físicos. Sin embargo, en 1930, antes de que pudiera siquiera empezar en el Trinity, Christopher Morcom murió de tuberculosis. Su pérdida dejó destrozado a Turing. «Tengo la impresión de que volveré a encontrarme con Morcom en alguna

otra parte y que habrá algún trabajo que podamos realizar de forma conjunta»[20], le escribió a su madre, «al igual que aquí… No parece que se me haya ocurrido jamás hacer otros amigos aparte de Morcom, ya que él hacía que todos los demás pareciesen tremendamente vulgares». Es posible que la propia señora Turing dijera más de lo que pretendía cuando, en una nota que le escribió a la madre de Morcom, que permitió que Alan se quedase con algunos de los efectos personales de Christopher, dijo que su hijo «atesoraba con la ternura de una mujer los lápices, el hermoso mapa de las estrellas, así como otros recuerdos que le entregó usted»[21].

Como cabría esperar, la pérdida de este prototipo de belleza tuvo el efecto de fijar en la imaginación de Turing un ideal de amor romántico antes de que el mismo tuviese tiempo de echarse a perder o de transformarse en una relación adulta. En la novela *Maurice* (1914), de E. M. Forster, el amor del héroe epónimo por Clive Durham se resuelve primero en una amistad sostenida y presuntamente sostenible (pero que, significativamente, por insistencia de Clive excluye el sexo) que después cede bajo el peso del rencor, cuando Clive decide contraer matrimonio. En contraste, Turing nunca tuvo la oportunidad de seguir el hilo de su atracción por Christopher Morcom hasta cualquiera que hubiese podido ser su inevitable desenlace. Quizá, de resultas, pasó gran parte del resto de su breve vida tratando de reencontrar aquel gran amor insatisfecho.

En el otoño de 1931, Turing se matriculó en el King's College, en Cambridge, donde le fueron asignadas habitaciones en Bodley's Court. A primera vista, podría parecer un lugar ideal para que recalase en él un joven matemático homosexual. El colegio era de una belleza ampulosa, rico (gracias en parte a la administración del economista John Maynard Keynes) y célebre por su actitud liberal de tolerancia. Tenía una reputación muy «gay». Forster, tan infame por su homosexualidad como famoso por sus novelas, vivía a cuatro pasos de las habitaciones de Turing. De haber sido menos tímido, es posible que Turing hubiese conocido a Forster y quizás hubiera sido invitado a una de aquellas veladas en las que el autor, ahora ya entrado en años, leía en voz alta del manuscrito de *Maurice*, que había decidido no publicar hasta después de su muerte[5*]. El propio Maurice, sin embargo, se sentía excluido de los florecientes círculos estéticos y filosóficos de Cambridge, y en muchos aspectos,

Turing presenta mayor semejanza con Maurice que con su creador. Aunque carecía de la sociabilidad propiamente varonil de Maurice, y no digamos de su sentido para la vida práctica, era, como Maurice, burgués y torpe[6*] [22]. También a semejanza de Maurice, no sentía vergüenza o duda algunas acerca de su homosexualidad, e incluso estuvo con algún otro estudiante por el que sentía «anhelos»[23] según las pistas aparecidas en el crucigrama de una revista del King's College. En la novela es Clive, el primer amor de Maurice y esteta autoproclamado, quien termina retrocediendo ante su propia homosexualidad y contrayendo matrimonio. Maurice, el más exteriormente convencional de los dos, se mantiene firme en su identidad, como haría Turing.

En los años treinta, el clima en Inglaterra estaba lejos de ser de tolerancia con los hombres y mujeres homosexuales. «Inglaterra siempre se ha mostrado poco dispuesta a aceptar la naturaleza humana»[24], le cuenta el señor Lasker-Jones a Maurice, el hipnotizador al que consulta a fin de volverse heterosexual —aserto demostrado por la enmienda Labouchere de 1885, que penalizaba «ultrajes contra la moral» no especificados entre varones adultos en público o en privado y que permanecería en vigor hasta 1967—. Fue bajo los términos de esta enmienda que Oscar Wilde fue detenido, juzgado y enviado a la cárcel de Reading. En época más reciente, la retirada de la circulación de la novela lesbiana de Radclyffe Hall *El pozo de la soledad* (1928) había llevado a Forster a recoger firmas en apoyo del libro, del cual abominaba en privado. (James Douglas, del *Sunday Express*, escribió acerca de *El pozo de la soledad* que «antes le administraría a un muchacho o muchacha sanos una ampolla de ácido prúsico que darles esta novela. El veneno mata al cuerpo, pero el veneno moral mata el alma»[25]). Incluso tras los muros protectores de King's College, mostrarse tan abierto con respecto a la propia homosexualidad de uno, como hacía Turing, era una conducta o demencial o revolucionaria. O quizá fuera simplemente lógica: evidencia ulterior de la literalidad de su pensamiento, de su distancia con respecto a los caprichos «del mundo». Turing ni glorificaba ni patologizaba su propia homosexualidad. Sencillamente la aceptó y dio por hecho (equivocadamente) que otros también lo harían.

A pesar de esa apertura, o quizá debido precisamente a ella, su

experiencia de King's College estuvo muy alejada de las que describían sus licenciados más ilustres en las muchas memorias y novelas que después escribirían. El colegio era célebre por sus lazos con Bloomsbury, con el mundo del arte y del teatro. Aunque Turing asistió a una producción de la obra de George Bernard Shaw *Vuelta a Matusalén* [26], no daba el tipo del licenciado al que solía invitarse a los tés en los que éste pudiera estar presente. Turing era demasiado tímido para aportar cachet intelectual, y demasiado inoportuno y desaliñado para figurar allí por su hermosura. Es probable que la timidez le impidiese abordar a las deslumbrantes y sofisticadas personalidades con las que compartía sus comidas, algunas de las cuales pertenecían a la famosa sociedad de tertulianos conocida como los Apóstoles (entre cuyos miembros figuraban Forster, Bertrand Russell, John Maynard Keynes, Lytton Strachey, Ludwig Wittgenstein y Leonard Woolf). Turing no fue invitado a unirse a ella. Tampoco se le invitó a ingresar en el Ten Club (lectura de obras de teatro) o la Sociedad Massinger [27], cuyos miembros hablaban de filosofía hasta altas horas de la noche. La novela de Forster acerca de Cambridge, *El más largo viaje* (1907), arranca con una reunión de esta clase: Ansell, Rickie y sus amigos sentados ante el hogar, debaten sobre si una hipotética vaca permanece en el campo después de que su observador se haya marchado (una variación sobre el viejo tema «si un árbol cae en el bosque»). El diálogo es a la vez insinuante, idealista y jactanciosamente juvenil. Entonces Rickie dice: «Creo que me apetece hablar» [28], y relata la historia de su juventud. Turing, aun en el caso de que se le hubiese invitado a una de esas reuniones, probablemente hubiese sido demasiado tímido para quitarle tanto tiempo a otra gente.

El problema no era que el ingreso en tales círculos estuviese cerrado por definición a los matemáticos: en gran medida, el teórico de los números G. H. Hardy (también homosexual) y «Bertie» Russell frecuentaron los mismos medios que Forster y Keynes. Ambos estaban dotados, no obstante, de una sofisticación y un savoir faire que Turing jamás habría podido igualar. En lugar de eso, se mantenía al margen, observaba y leía. Entre otras cosas, leyó el *Erewhon* de Samuel Butler (1871), que advertía de la toma del poder por las máquinas en detrimento de la humanidad.

Inconformista por naturaleza, hizo caso omiso de la tradicional división de Cambridge entre estetas y atletas, y se aficionó al remo (participó en los *trial eight*[7*] en 1931, 1933 y 1934). También se aficionó al violín (por decirlo de algún modo). Leía *The New Statesman* y se vio influido por el economista del King's College Arthur Pigou, quien, junto con Keynes, abogaba por una distribución más igualitaria de la riqueza. Formó parte del Anti-War Council, cuya finalidad era organizar para la huelga a los trabajadores de los sectores químicos y de municiones en caso de que se declarase la guerra, y dio una charla sobre «Matemática y lógica» ante el Moral Science Club. Cierto, no frecuentó a los Lytton Strachey de su tiempo, optando en su lugar por forjar amistades (una de ellas sexual) con muchachos que, como él, se sentían interesados por las ciencias, aun cuando, a diferencia de él, supieran anudarse correctamente la corbata[8*]. Y no obstante, era tan ciudadano del King's College como Risley, el entendido a lo Wilde que tanto deslumbra e intimida a Maurice. «En el Trinity habría sido una figura más solitaria»[29], escribe Hodges. Es cierto, y el Trinity no admitía que se le pusiera en cuestión tanto como King's. Si Turing llegó tan lejos en matemáticas como lo hizo, fue porque, en palabras de Hodges, estaba dispuesto a «poner en duda los axiomas»[30], disposición que era una parte esencial del legado del King's College.

En la medida que el King's College predicaba una filosofía, ésta era un credo de autonomía moral que tenía sus orígenes en los escritos filosóficos de G. E. Moore (1873-1958) y, en particular, sus *Principia Ethica* (1903). La refutación que Moore llevaba a cabo del idealismo absoluto y su defensa de la «bondad» como una cualidad sencilla que se definía por sí sola y que debía servir de fundamento a la conducta cotidiana, proporcionó un punto de apoyo ético para la filosofía del pujante movimiento Bloomsbury y situó a la gente del King's College a una distancia significativa de la orientación predominante entre la intelectualidad inglesa. Como recordaría más tarde John Maynard Keynes, él y sus compañeros abrazaron «la religión de Moore, por así decirlo»[32], pero desecharon su «moral». De ese modo pudieron transformar el utopismo un tanto pintoresco de Moore en un credo de liberación sexual y estética, de acuerdo con el cual «nada importa salvo los estados anímicos, los nuestros y

los de otra gente, por supuesto, pero sobre todo los nuestros. Dichos estados anímicos no estaban asociados con la acción, el éxito o las consecuencias. Consistían en estados de contemplación y comunión apasionados e intemporales, en gran medida carentes de relación con el "antes" o el "después"» [33]. Keynes se muestra notablemente cauteloso en eludir las precisiones de género cuando añade: «Los objetos apropiados de la contemplación y comunión apasionados eran una persona amada, la belleza y la verdad, y los objetivos primordiales en la vida eran el amor, la creación y el goce de la experiencia estética y la búsqueda del conocimiento. Entre ellos, el amor ocupaba el primer lugar con diferencia».

Semejante filosofía no estaba reñida con las matemáticas. La influencia de Russell resulta obvia en el aserto de Keynes según el cual:

> He denominado religión a esta fe, y sin duda alguna existía alguna clase de relación neoplatónica. Pero en aquel entonces nos habríamos irritado mucho ante una insinuación semejante. Considerábamos todo aquello como un asunto de naturaleza completamente racional y científica. Como cualquier otra rama de la ciencia, no se trataba sino de la aplicación de la lógica y del análisis racional a materiales que se presentaban como datos sensoriales. Nuestra percepción del bien era exactamente igual que nuestra percepción del color verde, y pretendíamos abordarla con la misma técnica lógica y analítica adecuada a este último caso… [9*] Los *Principies of Mathematics* de Russell aparecieron en el mismo año que los *Principia Ethica*, y el espíritu de los primeros proporcionó un método para el manejo el material proporcionado por los segundos. [34]

Keynes pasa entonces a ofrecer un ejemplo tan extraordinario por su apropiación del lenguaje de la lógica matemática como por el modo de escamotear (una vez más) la cuestión del género:

> Si A estaba enamorado de B, y creía que los sentimientos de B eran recíprocos, cuando en realidad

> no era ése el caso y B estaba enamorado de C, la situación no era sin duda tan buena como habría sido de estar A en lo cierto, pero ¿era peor o mejor de lo que habría sido si A salía de su error? Si A estaba enamorado de B debido a un error concerniente a las cualidades de B, ¿era peor o mejor que si A no estuviese enamorado en absoluto? Si A estaba enamorado de B porque las gafas de A no eran lo suficientemente buenas como para apreciar el cutis de B, ¿destruía —por completo o en parte— el valor del estado anímico de A? **[36]**

Está claro que en aquel universo, con sus A tocados con gafas y sus B con buena (o mala) complexión, un matemático homosexual se habría encontrado muy a gusto. Cambridge en general (y el King's College en particular) proporcionaba un ambiente idóneo para la experimentación intelectual y erótica, estimulando la disidencia al mismo tiempo que protegía al incipiente disidente el tipo de reacción violenta que sus ideas y su conducta podrían haber provocado en un foro más público. En otras palabras, nada de ello era real, y como campo de experimentación permitía a aquellos jóvenes varones probar las armas con las que acabarían por desafiar la autocomplacencia británica. «Rechazábamos absolutamente toda responsabilidad personal en lo referente a obedecer reglas generales» **[37]**, escribió Keynes. «… se trataba de una parte muy importante de nuestra fe, sostenida de forma violenta y agresiva, y para el mundo exterior constituía nuestra característica más visible y peligrosa». Semejante filosofía cuadraba muy bien con la famosa ética de las relaciones personales de Forster, que expuso de modo harto controvertido al afirmar que, si le diesen a elegir entre traicionar a un amigo y traicionar a su país, esperaba tener el valor de traicionar a su país. Como escribió en la introducción a *El más largo viaje*, el suyo era «el Cambridge temerario y carente de influencia que iba en busca de la realidad y al que le importaba la verdad» **[38]**, pero era también el Cambridge que daba por descontada su propia distancia elitista del mundo ordinario y, si Turing —como muestra Hodges— fue un ciudadano punto menos que ideal de este Cambridge, se debió al menos en parte a que el

«amateurismo sin estilo y espartano» de Sherborne, así como «su antiintelectualismo»[39], habían contribuido a hacer de él un hombre que «no se consideraba situado en una categoría superior en virtud de su cerebro». Cabe sospechar que a Turing le habría gustado el retrato —mucho más equilibrado— que hizo de la universidad el novelista Forrest Reid en su memoria de 1940 *Prívate Road*, donde escribía sin rodeos: «Cambridge, no puedo negarlo, me decepcionó»[40].

En efecto, es en sus investigaciones matemáticas, más que en la historia de su vida íntima, donde se aprecia con más intensidad el fruto de la estancia de Turing en el King's College. Su obra inicial se desarrolló en el campo de la matemática pura concretamente la teoría de conjuntos. (Una publicación de 1935 lleva el desolador título de «Equivalencia de la casi periodicidad de derecha e izquierda»). En un principio, en Sherborne, empezó por demostrar lo que ya había sido demostrado: «Le di una alegría a uno de mis profesores el otro día, al producir un teorema»[41], escribía a su madre en enero de 1932, «el cual, según él, sólo había demostrado con anterioridad un tal Sierpinski, mediante el recurso a un método bastante difícil. Mi demostración es muy sencilla, de manera que Sierpinski ha quedado obsoleto». (Es probable que se tratase de un teorema de 1904 acerca de puntos reticulares). Un curso sobre metodología de la ciencia impartido en 1933 por el astrofísico Arthur Eddington (1882-1944) le condujo en la misma dirección, lo que le llevó a proponerse descubrir —y a descubrir efectivamente— una demostración del por qué las mediciones de un objeto, cuando se describen gráficamente, tienden a formar la célebre «campana de Gauss» de la estadística. Pero ¡ay!, Turing no tardaría en descubrir que el resultado por él obtenido —el «teorema central del límite»— también había sido descubierto y demostrado ya, en 1922. Una vez más, el hecho de no haberlo comprobado antes de empezar refleja al mismo tiempo su carácter solitario y su tendencia a la temeridad. No obstante, se le animó a incluir los resultados en su disertación «On the Gausian Error Function», el grueso de la cual estaba terminada a finales de 1934 y, el 16 de marzo de 1935, sobre la base de dicha disertación, fue admitido como miembro del King's College[42]. Debido a que en ese momento sólo contaba veintidós años, en el ambiente de Sherborne circuló al respecto el siguiente

ripio:

> Turing
> Must have been alluring
> To get a made a don
> So early on. **[10*] [43]**

Ser admitido comportaba una beca de trescientas libras anuales, lo cual no era mucho, pero sí lo suficiente como para mantenerle mientras llevaba a cabo sus investigaciones. Fue entonces cuando empezó a cavilar por primera vez en torno a uno de los problemas clave de la matemática: el *Entscheidungsproblem* o, como se le llamaba en inglés, *the decision problem*. **[11*]**

2

> Turing cree que las máquinas piensan
> Turing yace con hombres
> Luego las máquinas no piensan

Cuando, en una carta de 1952 dirigida a su amigo Norman Routledge, Alan Turing incluyó este mordaz silogismo, no sólo aludía a la espantosa posibilidad de que su conducta desembocase en la represión de sus ideas; evocaba también —en especial por medio de la locución bíblica «yacer»— la célebre «paradoja del mentiroso», que se remonta al siglo IV a. C., cuando el filósofo cretense Epiménides declaró: «Todos los cretenses son unos mentirosos, según me ha contado un poeta cretense». Más tarde, Eubulides refino la paradoja (lo cual, en matemáticas, significa frecuentemente generalizarla) hasta llegar a la afirmación «Estoy mintiendo», y más tarde, durante el siglo XIV, el filósofo francés Jean Buridan la refino aún más cuando escribió: «Todas las afirmaciones que hay en esta página son falsas», en una página que, por lo demás, estaba en blanco.

En esencia, la paradoja del mentiroso funciona así: tomemos la afirmación «Todas las afirmaciones que hay en esta página son falsas». Si tal afirmación es verdadera, entonces la que hay en la página —«Todas las afirmaciones que hay en esta página son falsas»— es falsa. Pero si es falsa, entonces la afirmación que hay en la página tiene que ser cierta, y a la vez se encuentra en la página en la que todas las afirmaciones son falsas… y así sucesivamente. **[12*]** Durante años, los universitarios fumados se han quedado traspuestos mirando al techo y meditando en torno al alcance de esta paradoja, con la que trabé conocimiento a finales de la década de los sesenta mientras veía un episodio de *Star Trek* titulado «I, Mudd». Al final del episodio, el villano epónimo, Harry Mudd, incapacita a un superandroide llamado Norman obligándole a procesar una versión de la paradoja del mentiroso. Mientras Norman escupe el bucle de contradicciones («todo lo que digo es mentira, luego estoy mintiendo, luego todo lo que digo es verdad»), se le acelera el habla y su tono de voz se vuelve más agudo, al estilo de una cinta magnetofónica puesta a alta velocidad. Finalmente, poco más o menos explota, y después se apaga: y de eso se trata. Las afirmaciones absurdas y contradictorias incapacitan. Si uno piensa en la paradoja del mentiroso durante demasiado tiempo, como Norman, acabará alucinando.

Por supuesto a estas alturas, cierto tipo de lector avispado que cree en el «mundo real» —alguien muy semejante a Wittgenstein, a decir verdad— tendría una o dos objeciones que hacer, y señalaría que cuando pongo en práctica la paradoja del mentiroso en su forma más irrebatible —cuando digo «estoy mintiendo»— ni digo la verdad en el sentido en que lo hago cuando digo «estoy escribiendo un libro sobre Alan Turing», ni miento en el sentido en que lo hago cuando le digo a mi editor que tengo el libro más adelantado de lo que está en realidad. Más bien estoy efectuando una parada intelectual en un *ring* en el que las afirmaciones son símbolos, y los significados importan menos que las relaciones que se establecen entre ellos. Éste es el *ring* en el que por lo general se ha librado la batalla por establecer un fundamento sólido para el pensamiento matemático, y en el curso de la cual han caído muchas lumbreras. Más numerosos aún han sido los matemáticos que se han negado en redondo a aventurarse siquiera en las inmediaciones de tal lugar.

Cuando le pregunté a un matemático portugués al que conozco si tenía alguna observación que hacer al respecto, me contestó lo siguiente: «Las bases de las matemáticas están llenas de lagunas y yo jamás me he sentido cómodo tratando con cosas semejantes».

Llenas de lagunas. Generaciones previas de matemáticos supusieron que la estabilidad del terreno sobre el que se levantaban las estructuras matemáticas estaba garantizada por Dios o por la naturaleza. Se internaban en ellas como pioneros o como topógrafos cuya tarea era trazar el mapa de los cimientos y, al hacerlo, asegurar el territorio que habrían de colonizar las generaciones futuras. Pero entonces empezaron a aparecer las lagunas —de las que la paradoja del mentiroso es sólo una muestra— y los matemáticos comenzaron a empantanarse en ellas. ¡No importaba! Todas ellas podían ser colmadas, una tras otra. Sin embargo, enseguida aparecía otra, y otra, y otra más…

Bertrand Russell (1872-1970) hablaba en nombre de innumerables matemáticos idealistas al decir, en 1907:

> El descubrimiento de que toda matemática deriva inevitablemente de una pequeña colección de leyes fundamentales realza infinitamente la belleza intelectual del conjunto: para quienes se han sentido oprimidos por la naturaleza fragmentaria e incompleta de la mayoría de encadenamientos deductivos existentes, este descubrimiento se presenta con toda la abrumadora fuerza de una revelación: como un palacio que surgiera de una bruma otoñal en el transcurso del ascenso del viajero por la ladera de una colina italiana, las majestuosas plantas del edificio matemático aparecen en su debido orden y con sus debidas proporciones, cada nuevo elemento provisto de una nueva perfección. **[45]**

Recuerdo que cuando leí en la universidad el *Middlemarch* de George Eliot, quedé fascinado por el personaje del señor Casaubon, cuya obra vital era una *Clave de todas las mitologías* que jamás pudo terminar. Si la *Clave* del señor Casaubon estaba condenada a permanecer inacabada, observó mi astuta profesora, se debía, al

menos en parte, a que por su propia naturaleza los «proyectos totalizadores» se ramifican sin cesar; es imposible que abarquen la multitud de minúsculos detalles exigidos por palabras como «todo», del mismo modo que no pueden aspirar a articular todas las generalizaciones a las que dan pie sus premisas (en este caso, la idea de que a todas las mitologías corresponde una sola clave). Quizá, sin darse cuenta, mi profesora hacía una afirmación matemática —afirmaba la existencia tanto de lo infinito como de lo infinitesimal— y sus objeciones frente a la *Clave* del señor Casaubon son igualmente válidas para todos los esfuerzos de los matemáticos por establecer una *Clave de todas las matemáticas*.

Tomemos, por ejemplo, el proyecto —nunca llevado al papel— con el que soñaba G. W. Leibniz a finales del siglo XVII: crear una especie de enciclopedia que abarcase la totalidad del conocimiento humano y lo tradujera a símbolos matemáticos que pudiesen manipularse de acuerdo con las reglas de la deducción. Leibniz denominó a dicho programa un *calculus ratiocinator*. «De surgir alguna controversia»[47], escribió Russell (imitando la forma de expresarse de Leibniz), «ya no habría mayor necesidad de debates entre dos filósofos que entre dos contables, pues bastaría con que tomasen sus plumas, se sentasen ante sus escritorios y se dijeran el uno al otro (con un amigo como testigo, si tal fuera su deseo), "Calculemos"».

Aunque estuviese condenado al fracaso, el «gran proyecto» de Leibniz[46] por lo menos engendró la disciplina de la lógica simbólica, tal y como sería desarrollada más adelante por George Boole (1815-1864) y Gottlob Frege (1848-1925). Antes de ser profesor de matemáticas en el Queen's College de Cork, Boole fue maestro de escuela; quizás a eso se deba que sus escritos —principalmente *El análisis matemático de la lógica*, publicado en 1847— contengan pocas muestras de la ostentación de Leibniz; por el contrario, en su obra resultan evidentes una grata modestia y distancia de la ambición mundanal (también presentes en Turing). En esencia, el objetivo de Boole fue establecer un sistema para la transformación de las propuestas lógicas en ecuaciones. Por consiguiente, a pesar de recurrir a ejemplos tomados de la vida real (cosas blancas, cosas con cuernos, ovejas, ovejas blancas con cuernos), ponía especial hincapié en la disociación de los símbolos

que empleaba de las situaciones que describía; en sus manos, episodios que requerían razonamientos deductivos, o la toma de decisiones, se reducían a procedimientos elementales en las que los términos operativos eran «y» y «no», en tanto que las ovejas blancas y las ovejas con cuernos eran w y h respectivamente.[13*] En semejante sistema, escribió Boole «cada proceso representará una deducción, y cada consecuencia matemática expresará una inferencia lógica. La generalidad del método nos permitirá incluso expresar operaciones arbitrarias del intelecto, llevándonos así a la demostración de los teoremas generales de la matemática ordinaria»[48].

Frege[14*] llevó las ideas de Boole un paso más allá, no sólo al complicarlas, sino al emplearlas para poner los cimientos del «logicismo», cuya tesis fundamental era «que la aritmética es una rama de la lógica y no necesita tomar prestado fundamento demostrativo alguno de la experiencia ni de la intuición»[49]. Su *Begriffschrift [Escritos lógico-semánticos]* publicado en 1879, fue un intento de establecer «un lenguaje formal para el pensamiento puro, tomando como modelo la aritmética»[51]. Con semejante lenguaje, los relatos acerca de la sustancia del mundo —cafeteras, coches, perros, reinas malvadas, manzanas, por no hablar de las ovejas blancas y las ovejas con cuernos de Boole— podían ser filtrados hasta obtener cadenas de símbolos cuyo sentido era por completo irrelevante. Frege también dio una definición estricta de la demostración matemática que no ha sido impugnada, y en su obra de 1884, *Die Grundlagen der Aritmethik [Fundamentos de la aritmética],* abordó la cuestión de qué eran en realidad los números cardinales,[15*] definiendo cada número n como la *clase* o el *conjunto* de todas las colecciones con n miembros: «7» por ejemplo, se definiría como el conjunto de todas las colecciones con *siete* números, desde los Siete Enanitos hasta las Siete Colinas de Roma, pasando por las siete letras de la palabra *palabra*. En un sistema semejante, como más tarde explicó Russell, «un número particular no es idéntico al trío compuesto por Brown, Jones y Robinson. El número 3 es algo que todos los tríos tienen en común, y que los diferencia de todas las demás colecciones»[52]. Esta definición era más rigurosa que las que la precedieron, porque efectuaba una

distinción entre la colección en sí misma (Brown, Jones y Robinson) y su categoría (3); también contribuyó significativamente al objetivo de Frege de construir una teoría axiomática de la aritmética.

El primer volumen de la obra maestra de Frege, *Die Grundgesetze der Arithmetik [Las leyes fundamentales de la aritmética]* fue publicado en 1893. En contraste con los *Grundlagen* que no incluían simbolismo alguno y sólo esbozos de demostraciones (y no demostraciones rigurosas según el estricto criterio de Frege), los *Grundgesetze* aspiraban a utilizar la lógica para establecer los fundamentos de la práctica de las matemáticas. Pero luego, el 16 de junio de 1902, en el momento preciso en que el segundo volumen estaba a punto de entregarse a la imprenta, Russell le envió una carta a Frege (en alemán) en la que, tras haber alabado primero los *Grundgesetze*, hacía la siguiente observación: «Sólo he hallado una dificultad en un punto» [53]. Y a continuación lo que de hecho hizo fue socavar la totalidad del programa de Frege.

En lo esencial, el problema tenía que ver con la idea de los *conjuntos de conjuntos*. Frege ya había definido el número 7 como el conjunto de todos los conjuntos con siete miembros: los Siete Pecados Capitales, las Siete Colinas de Roma, los Siete Enanitos, etc. Este conjunto podía concebirse como una caja con la etiqueta «conjuntos de 7 miembros». Una caja semejante podía etiquetarse «conjuntos con un número par de miembros», otra simplemente «parejas». Algunos conjuntos podían ser miembros de sí mismos y otros no. Tómese por ejemplo, el conjunto de los perros, al que pertenece mi fox terrier, *Tolo*. ¿Forma parte de sí mismo este conjunto? No. Como dijo Russell, el género humano no es un hombre, del mismo modo que «todos los perros» no representa a ningún perro en particular. Otros conjuntos, sin embargo —por ejemplo, el conjunto compuesto por «cosas que no son perros»— sí forman parte de sí mismos, puesto que, sea lo que sea una «cosa que no es un perro», desde luego no es *Tolo* ni ningún otro perro en particular. De igual modo, el «conjunto de todos los conjuntos con infinitos miembros» forma parte de sí mismo, ya que tiene infinitos miembros.

Aquí fue donde apareció la «dificultad». Imagínese un conjunto etiquetado «Conjuntos Que No Son Miembros De Sí Mismos». ¿Es este conjunto miembro de sí mismo? Si lo es, entonces por definición es uno de los conjuntos que no son miembros de sí mismos, en cuyo caso no es miembro de sí mismo. Si no lo es, entonces no es uno de los conjuntos que no son miembros de sí mismos, en cuyo caso es miembro de sí mismo. A Russell le gustaba formular este pariente de la paradoja del mentiroso, que acabaría conociéndose como la paradoja de Russell o el antimonio de Russell, por medio del ejemplo del barbero que afeita a diario a todos los hombres de su pueblo que no se afeitan ellos mismos y a nadie más. Si el barbero no se afeita a sí mismo, es uno de los hombres que no se afeitan ellos mismos y, por tanto, debe afeitarse a sí mismo. Por otro lado, si se afeita a sí mismo, es uno de los hombres que se afeitan a sí mismos y, por tanto, no debe afeitarse a sí mismo.

La carta de Russell dejó deshecho a Frege, que tuvo que apresurarse a insertar un apéndice en el segundo volumen de los *Grundgesetze* en el que admitía la contradicción (o, como la denominó Russell, de forma más inquietante, la «Contradicción»). Consternado, como es natural, respondió el 22 de junio:

> Su descubrimiento de la contradicción me causó la máxima sorpresa y casi diría consternación, puesto que ha hecho tambalearse la base sobre la que tenía la intención de construir la aritmética… Resulta tanto más serio ya que, desde la ruina de mi Regla V, no sólo los fundamentos de mi aritmética, sino el único fundamento posible de la aritmética, parecen haberse desvanecido. **[54]**

Posteriormente Frege y Russell trabajaron juntos para intentar resolver la paradoja o, en su defecto, encontrar un medio de impedir que se contagiase al sistema de fundamentación que intentaban edificar. Frege, sin embargo, abandonó enseguida su ambición, centrándose en su lugar en la filosofía del lenguaje, en tanto que, tras muchos esfuerzos, Russell halló una ruta un tanto sinuosa para sortear la paradoja que él mismo había traído al

mundo. Por desgracia, las complejidades de la construcción de mala calidad que Russell tuvo que llevar a cabo supuso que *su* obra maestra —los tres volúmenes de los *Principia Mathematica*, escrita conjuntamente con Alfred North Whitehead, y que describían un sistema matemático formalizado basado en un conjunto de axiomas (proposiciones generales, cuya verdad era manifiesta) y reglas de inferencia por medio de las cuales podía expresarse cualquier fragmento de razonamiento matemático correcto **[16*]** — fuera a la vez poco flexible y de difícil empleo.

Aun así, los *Principia Mathematica* dieron sus frutos, y éstos fueron lo suficientemente buenos para que en 1928, cuando el matemático alemán David Hilbert (1862-1943) pronunció un célebre discurso en el que solicitó que se demostrase el carácter completo, consistente y decidible de las matemáticas, los PM, como se acostumbraba a denominarlos, proporcionaron el terreno de prueba sobre el que Kurt Gödel, y más tarde Alan Turing, probaron suerte. Los resultados transformaron las matemáticas de forma irrevocable, llevándolas en direcciones en las que Frege ni siquiera habría soñado.

3

La ambición de Hilbert era establecer y afianzar los fundamentos de los sistemas matemáticos formalizados. Los PM, pese a todo su engorro, son el ejemplo clásico de un sistema semejante, en que fueron diseñados de modo que, a partir de sus axiomas y reglas de inferencia pudiera derivarse cualquier oración matemática verdadera. Y no obstante, el programa de Hilbert se diferenciaba de los de Russell y Frege en dos puntos filosóficos clave. En primer lugar, Hilbert repudiaba lo que Hardy denominaba «la doctrina extremista de Russell, según la cual toda matemática es lógica y que las matemáticas carecen de fundamentos autónomos» **[56]**, aliándose con Kant, quien había sostenido «que las matemáticas tenían a su

disposición un contenido establecido con independencia de toda lógica y, por consiguiente, jamás pueden ser fundamentadas exclusivamente por medio de la lógica»[57]. En segundo lugar, en tanto que Russell consideraba la lógica y las matemáticas, en palabras de Hardy, como «ciencias sustanciales que de algún modo nos proporcionan información respecto de la forma y la estructura de la realidad»[58] y sostuvo que «los teoremas matemáticos poseen significados que podemos comprender de forma directa, y eso es precisamente lo que tienen de importante», Hilbert consideraba a las matemáticas un sistema formalizado, cuyos signos elementales estaban desprovistos de todo significado. Postulados y teoremas se consideraban, por tanto, como cadenas de signos carentes de significado, que podían ensamblarse, deshacerse y volver a ensamblarse de formas nuevas mediante la simple aplicación de un conjunto de reglas preestablecidas.

La invocación de Kant por parte de Hilbert provocó el escepticismo de Hardy, quien acogió de modo más bien burlón su fe en los «signos concretos», escribiendo al respecto: «Debiera empezar por manifestar de inmediato una objeción fatal que he de hacerle a este punto de vista. Si Hilbert ha desarrollado las matemáticas Hilbert con una serie particular de signos sobre una hoja de papel particular y yo las copio en otra hoja, ¿habré desarrollado una nueva matemática? Indudablemente serán las mismas matemáticas incluso si él escribe a lápiz y yo con tinta, y sus signos son negros y los míos rojos…»[59]. Para Hardy, algunos de los axiomas de las matemáticas formalistas podrían compararse con «las piezas de ajedrez, el bate, la pelota y los palos, los materiales con los que jugamos… Por emplear el ejemplo de Weyl, estamos jugando al ajedrez. Los axiomas se corresponden a la posición dada de las piezas, el proceso de la demostración con las reglas de movimiento de éstas, y las fórmulas demostrables con todas las posiciones posibles que puedan producirse en el transcurso del juego»[60]. Sin embargo, el juego carece de significado, en el sentido de que el rey carece de reino, la reina no tiene amante y los peones están desprovistos de tierra que labrar; «en la lógica de Hilbert, sin embargo, resulta fundamental que, cualquiera sea el modo en que las fórmulas del sistema hayan sido sugeridas, los “significados” que las sugirieron se encuentran por completo fuera del sistema, de

modo que el "significado" de una fórmula ha de olvidarse inmediatamente después de ser escrita»[61].

A pesar de las objeciones de Hardy, las matemáticas formalistas permitieron a Hilbert efectuar un importante progreso. Del mismo modo que es posible debatir y analizar una partida de ajedrez particular, también es posible hacer afirmaciones generales acerca de un sistema formalizado (si bien carente de significado). Tales afirmaciones fueron clasificadas por Hilbert bajo la categoría de las «metamatemáticas». Por consiguiente (por tomar prestado un ejemplo de Ernest Nagel y de John R. Newman), $2 + 3 = 5$ es una expresión matemática, pero la afirmación «$2 + 3 = 5$ es una fórmula matemática» pertenece a la metamatemática, «porque caracteriza a una cadena determinada de signos aritméticos como fórmula»[62]. De igual modo, la afirmación «cualquier sistema matemático formalizado es completo, consistente y decidible», pertenece a las metamatemáticas. Al decir «completo», Hilbert quiso decir que en el seno del sistema toda afirmación verdadera podía ser demostrada formalmente y cualquier afirmación falsa podía ser refutada formalmente. Al decir «consistente», quería decir que en el seno de dicho sistema, no se podía llegar a ninguna afirmación inválida, como, por ejemplo $2 + 2 = 5$ o $1 = 0$, por medio de un proceso de demostración válido. Por último, al decir «decidible», quiso decir que en el seno de dicho sistema podía demostrarse que existía un «método categórico» por medio del cual podía determinarse la veracidad o falsedad de cualquier afirmación. A esta última cuestión se aludía con frecuencia mediante su denominación alemana original: el *Entscheidungsproblem* o «problema de la decisión».

Tan grande era la confianza de Hilbert en aquellos asertos que cuando, en el transcurso de una alocución pronunciada en Bolonia en 1928, solicitó la demostración de los mismos, dio por supuesto que el llamamiento generaría resultados positivos. En fecha tan temprana como 1900, en un célebre discurso que dio en París, declaró que la «convicción de la solubilidad de todos los problemas matemáticos es un poderoso incentivo para el trabajador. Escuchamos en nuestro interior la llamada eterna: ahí está el problema. Busca la solución. Puedes hallarla por medio de la razón pura, pues en matemáticas no existe *ignorabimus*»[63]. En 1931 fue

más lejos, reconociendo, en un discurso que pronunció con ocasión de su nombramiento como ciudadano honorario de su villa natal de Königsberg que «los problemas insolubles no existen»[64]. Fue en este discurso, tras menospreciar una vez más al «ridículo *ignorabimus*» cuando hizo su famosa exhortación: «Wir müssen wissen, Wir werden wissen»[65]. (Hemos de saber, y sabremos).

En tiempo de paz, el Congreso Internacional de Matemáticos se celebraba a intervalos regulares de cuatro años. Como consecuencia de la Primera Guerra Mundial, sin embargo, el congreso de 1916 no se celebró, en tanto que en 1920 y 1924, a causa de la ira de posguerra provocada por el nacionalismo alemán, Alemania no fue invitada, de manera deliberada, a enviar una delegación. En 1928, los organizadores italianos del congreso sí invitaron a los alemanes. En esta ocasión, sin embargo, el matemático Ludwig Bieberbach (1886-1982), trabajando de forma conjunta con L. E. J. Brouwer (1881-1966), organizó un boicot en protesta por la exclusión de Alemania de los congresos anteriores y, más en general, en protesta por el tratado de Versalles. Hilbert no apoyó el boicot, y en respuesta a una carta enviada por Bieberbach escribió: «Estamos convencidos de que seguir el camino de herr Bieberbach traerá la desgracia a la ciencia alemana y nos expondrá a todos a una crítica justificada por parte de gentes de buena voluntad… Bajo las actuales circunstancias se diría una exigencia de rectitud y de la cortesía más elemental mostrar una actitud amigable hacia el Congreso»[66]. Finalmente, el propio Hilbert encabezó una delegación de sesenta y siete matemáticos a Bolonia, donde subrayó el contenido pacifista del discurso que pronunció:

> No olvidemos que, como matemáticos, nos hallamos en la cima máxima del cultivo de las ciencias exactas. No tenemos otra opción que ocupar este puesto de la máxima altura, porque toda limitación, sobre todo las nacionales, es contraria a la naturaleza de las matemáticas. Construir diferencias de acuerdo con los pueblos y las razas supone una completa incomprensión de nuestra ciencia, y los motivos por los que esto se ha hecho son de los peores.
>
> Las matemáticas no admiten la existencia de raza

> alguna… para las matemáticas, el universo cultural entero constituye una sola nación. [67]

Para Hilbert, el formalismo estaba estrechamente ligado al pacifismo. Las diferencias raciales y nacionales eran meras «significaciones provocadoras» de las que había que emancipar los signos si la paz había de lograrse y mantenerse. El paisaje sin fronteras que describió trae a la memoria la evocación que hizo Russell del edificio matemático que surge «de una bruma otoñal durante el ascenso del viajero por la ladera de una colina italiana», un dominio inmaculado por las diferencias políticas. Pero ¡ay!, pocos años después, el corresponsal del *Times* de Londres en Berlín informaría acerca de un encuentro de matemáticos

> que tuvo lugar en la Universidad de Berlín para reflexionar acerca del lugar que su ciencia ocupa en el Tercer Reich. Se declaró que las matemáticas alemanas seguirían siendo las del «hombre fáustico», que la lógica por sí sola era una base insuficiente para ellas, y que la intuición germánica que había engendrado los conceptos de infinito era superior a las herramientas lógicas que franceses e italianos habían empleado para lidiar con las mismas cuestiones. Las matemáticas eran una ciencia heroica que reducía a orden el caos. El nacionalsocialismo se proponía la misma tarea y exigía las mismas cualidades, de manera que la «conexión espiritual» entre las matemáticas y el nuevo orden quedó establecida, por medio de una mezcolanza de lógica e intuición. [68]

Hardy también tomó nota de las diferencias nacionales en las matemáticas, comentando, en su más bien escéptico ensayo acerca de la teoría de las demostraciones hilbertianas, que «en estos momentos me interesa sobre todo la escuela formalista, en primer lugar porque quizá ser todo lo formalista posible sea el instinto natural de un matemático (cuando no entra en conflicto con deseos más poderosos), y en segundo lugar porque estoy seguro de que en Inglaterra se le ha prestado demasiado poca atención al formalismo…» [69]. El pragmatismo inglés conducía de forma muy

natural a la desconfianza ante el formalismo alemán, cuya escalofriante impersonalidad hizo a éste, con sus sueños sobre un mundo sin fronteras, igual de atractivo para la maquinaria propagandística del Tercer Reich que para Hilbert.

En efecto, no resulta difícil leer entre las líneas del programa de Hilbert una tentativa, vía las matemáticas, de conjurar la pesadilla en ciernes, del mismo modo que no resulta difícil leer entre las líneas del desbaratamiento subsiguiente de dicho programa por parte de Kurt Gödel, tanto la sentencia de muerte del idealismo de preguerra como el advenimiento de una época sangrienta y desquiciada en la que las metáforas predominantes serían las del caos y la noche, no las del orden y el amanecer. Como Frege y Russell antes que él, Hilbert esperaba afianzar de una vez por todas la seguridad del paisaje matemático (y, por extensión, la seguridad de Europa): ofrecer la prueba de que para la verdad o falsedad de cualquier aserto matemático —incluso los asertos que llevaban largo tiempo sin demostrar, como la conjetura de Goldbach, que sostiene simplemente que cualquier número par entero positivo mayor que 2 puede escribirse como la suma de dos números primos — tenía por fuerza que existir, en alguna parte, una demostración. Y no una demostración cualquiera; al contrario, en caso de que algún negativista de los márgenes de las matemáticas presentase alguna objeción, esta prueba de la demostrabilidad tenía que ser «absoluta», con lo cual Hilbert quería decir que debía emplear un número mínimo de principios de inferencia y que no debía depender de la consistencia de otro conjunto de axiomas. Sólo una prueba absoluta garantizaría que una descripción matemática no estaba aquejada por contradicciones ocultas, tales como el antinomio de Russell. Ya en el transcurso de una conferencia acerca de Georg Cantor (1845-1918) y de su revolucionaria obra en torno al infinito, Hilbert había evocado las contradicciones que «aparecían, esporádicamente en un principio, y después de forma cada vez más severa y ominosa», en las matemáticas, sintetizándolo del modo siguiente:

> Admitamos que la situación en la que en la actualidad nos encontramos con respecto a las paradojas es, a largo plazo, intolerable. Piénsenlo: en las matemáticas, ese dechado de fiabilidad y de veracidad, las

> mismísimas nociones e inferencias, tal y como todo el mundo las enseña, aprende y utiliza, conducen a absurdos. Y si el pensamiento matemático nos fallara, ¿dónde vamos a hallar la fiabilidad y la veracidad? **[70]**

Y sin embargo, Hilbert se negó a admitir la derrota. Por el contrario, insistió en que tenía que haber

> una forma completamente satisfactoria de salvar las paradojas sin traicionar nuestra ciencia…
>
> Investigaremos meticulosamente aquellas formas de generar nociones y aquellos modos de inferencia que resulten fructíferos; los cuidaremos, los mantendremos y los haremos utilizables, allá donde exista la menor esperanza de éxito. Nadie podrá expulsarnos del paraíso que Cantor creó para nosotros. **[17*] [71]**

Una demostración absoluta de que las matemáticas eran a toda prueba eliminaría para siempre el riesgo de expulsión de los Adanes y Evas matemáticos de aquel Edén.

Visto a la luz de la inminente masacre del mismo, por no hablar de la masacre de Europa, el programa de Hilbert resulta altamente idealista, platónico incluso. En el centro del mismo, a fin de cuentas, está el supuesto de que incluso las demostraciones no descubiertas ya existen «en alguna parte»; la duda se despeja y al matemático se le reconforta diciéndole que, si invierte el tiempo necesario y trabaja a fondo, él o ella podrán reducir a cualquiera de las bestias que acechan en la jungla metafísica. El programa era la perfecta expresión de la determinación de Hilbert de dotar a los matemáticos más jóvenes con la voluntad de descubrir, puesto que se proponía desterrar de la empresa matemática toda causa de desesperación o incluso de incertidumbre. Más aún, prometía una salida del laberinto. «Wir müssen wissen, Wir werden wissen»: aunque los unicornios no existieran, en algún lugar del mundo tenía que haber pruebas de que los unicornios existían o de que no existían, y en el caso de que sí existieran, su existencia podía demostrarse mediante algún método categórico. Con todo, el lenguaje de Hilbert sugiere al menos algún rastro de ansiedad. Al fin y al cabo, en el universo judeo-cristiano, los Edenes son por

naturaleza transitorios. Lo que Dios otorga, también Él lo puede retirar. Su referencia al «paraíso», sugiere que Hilbert parecía inclinarse, aun de modo subconsciente, ante la conciencia de que aunque el paraíso pueda ser infinito, nuestra estancia en él es sin lugar a dudas finita, pues en las copas de los árboles acecha una serpiente: la paradoja.

4

En cada uno de los tres aspectos —completo, consistente y decidible —, Hilbert resultó estar equivocado. En un artículo de 1931 titulado «Sobre las proposiciones formalmente irresolubles de *Principia Mathematica* y sistemas emparentados»[73], el joven matemático austríaco Kurt Gödel (1906-1978) demostró de forma incontrovertible que las matemáticas, tal y como las conocemos, no pueden ser utilizadas para demostrar el carácter consistente o completo de las mismas. Ironías de la vida, la primera comunicación pública de sus descubrimientos tuvo lugar en Königsberg en 1930, precisamente el día antes de que David Hilbert fuera declarado ciudadano honorario de la ciudad y pronunciara su célebre discurso.

El método de Gödel era ingenioso[18*]. Para empezar, postuló un sistema en el que las fórmulas, teoremas y secuencias matemáticas pudieran expresarse en forma de números. En primer lugar, escribió los números básicos —el alfabeto— de la aritmética y le asignó un número a cada símbolo («no» era 1, «o» era 2, etc.). De igual modo, se asignaron números a los signos básicos de puntuación, adición y multiplicación (un paréntesis izquierdo era 8, un signo de multiplicación era 12, etc.). Por último, se asignaron números para tres tipos de variables: variables *numéricas*, que podían reemplazarse por números y expresiones numéricas, y variables *predicables*, que podían ser reemplazadas por predicados. Con este sistema, mostró Gödel, era posible expresar de forma

numérica cualquier oración aritmética. Por ejemplo, la oración 1 + 1 = 2 se reescribía primero de esta forma

$$s\ 0 + s\ 0 = s\ s\ 0$$

en la que «s» significaba en este caso «el inmediato sucesor de». A continuación estos signos se volvían a escribir dando sus equivalentes numéricos:

$$s\ 0 + s\ 0 = s\ s\ 0$$

$$7\ 6\ 11\ 7\ 6\ 5\ 7\ 7\ 6$$

A continuación su multiplicaban entre sí sucesivos números primos, cada uno de ellos elevado a la potencia de los números arriba indicados:

$$2^{7} \times 3^{6} \times 5^{11} \times 7^{7} \times 11^{6} \times 13^{5} \times 17^{7} \times 19^{7} \times 23^{6} = ?$$

La respuesta a esta multiplicación es, hay que reconocerlo, un número tan inmenso como para escapar a todo cálculo. Y sin embargo, lo importante es esto: que el número, de acuerdo con el teorema fundamental de las matemáticas[19*], puede ser descompuesto sólo de una forma, en los factores primos arriba indicados; representa la codificación singular de una ecuación particular. Por consiguiente, si a uno le proporcionaran el número misterioso, sería una simple cuestión de cálculo descomponerlo en unidades diferenciadas que pudieran traducirse a 1 + 1 = 2. La laboriosidad de la ecuación tampoco importa en realidad, ya que lo que Gödel intentaba no era tanto ofrecer un prototipo como un marco teórico para mostrar que *en principio* existía un medio de traducir las oraciones aritméticas a números de Gödel, y para traducir luego los números de Gödel de nuevo a oraciones aritméticas. Cierto, haría falta una computadora para realizar los cálculos. Aunque Gödel no tenía la computadora *in mente* —al menos, no de forma consciente— gran parte de su obra prefiguraba la invención de ésta.

Sin embargo, el sistema desarrollado por Gödel le permitió hacer

mucho más que simplemente codificar afirmaciones matemáticas como números: le permitió inventarse una forma de expresar oraciones metamatemáticas *acerca* de un sistema formal *dentro* de ese sistema. En otras palabras, estableció un medio no sólo de reformular oraciones del tipo 2 + 3 = 5 como números largos, sino también de reformular oraciones del tipo «2 + 3 = 5 es una fórmula aritmética» como números largos, reformulando primero las oraciones en «cadenas» simbólicas y traduciendo a continuación las cadenas a su código numérico. Todo esto tenía un propósito serio: la cuestión era codificar una oración metamatemática particular: la que derribaba todas las murallas.

Esta oración crucial rezaba así: «La fórmula G, para la que el número Gödel es *g*, declara que existe una fórmula con el número Gödel *g* que no es demostrable en *PM* o cualquier sistema emparentado». ¿Les suena? Las paradojas siempre suenan a falso. En esencia, Gödel estaba postulando una fórmula que afirmaba el carácter indemostrable de la misma. Si semejante fórmula es cierta, entonces no es demostrable; si es demostrable, entonces no es cierta. No obstante, en un sistema matemático *completo*, uno debería poder probar o refutar todas las afirmaciones hechas utilizando ese sistema, en tanto que en un sistema matemático *consistente*, debería resultar imposible demostrar una afirmación que no fuera cierta o refutar una afirmación cierta. Gödel acababa de hacer ambas cosas. Si, en otras palabras, *PM* y sus sistemas emparentados —todos los sistemas emparentados; de hecho, la totalidad de la aritmética— era consistente, no podía ser completo. Y aunque en principio uno podía añadir axiomas al sistema a fin de circunscribir las inconsistencias, del mismo modo que Russell había añadido axiomas a los *Principia Mathematica* para lidiar con la Contradicción, sería relativamente sencillo construir una oración metamatemática gödeliana que mostrase que el nuevo sistema, con los axiomas añadidos era, al igual que el anterior, incompleto e inconsistente. Y en tal caso, si uno fuera a añadir axiomas a *ese* nuevo sistema a fin de circunscribir las inconsistencias, podría construirse una oración metamatemática gödeliana que mostrase que este nuevo sistema, con los axiomas añadidos, *también* era incompleto e inconsistente.

De hecho, Gödel había demostrado que una afirmación podía ser verdadera sin por ello ser demostrable, lo que suponía que cualquiera de entre una pléyade de afirmaciones matemáticas podía ser verdadera pero no necesariamente demostrable. Por ejemplo, la conjetura de Goldbach, en torno a la época en que Gödel publicó su teorema, llevaba sin ser demostrada casi 190 años [20*]. A partir de entonces, los matemáticos deseosos de soluciones para éste y otros problemas sin solventar se vieron despojados de toda certeza de que los tesoros, tras cuyas huellas iban, existieran siquiera. Las palabras «verdad» y «demostración» ya no podrían ser consideradas sinónimas matemáticamente: un golpe demoledor para el programa de Hilbert.

La primera reacción de Hilbert —nada sorprendente por otra parte— ante el artículo de Gödel fue de enojo. Como escribió su biógrafa Constance Reid:

> En la ingeniosísima obra de Gödel, Hilbert vio, intelectualmente, que la meta hacia la que había encauzado grandes esfuerzos desde comienzos de siglo… no podría ser alcanzada… La confianza ilimitada en el poder del pensamiento humano, que le había conducido de forma inexorable a ésta, la última gran obra de su carrera, le hacía ahora imposible aceptar emocionalmente el resultado de Gödel. También desempeñó una parte el rechazo, muy humano, del hecho de que el descubrimiento de Gödel fuera una verificación de ciertos indicios —cuya relevancia él mismo se había negado a reconocer hasta ese momento— de que el marco teórico del formalismo no era lo suficientemente resistente como para aguantar las cargas que él pretendía que soportara. [74]

De forma bastante veloz, sin embargo, Hilbert se adaptó y comenzó a hacer un esfuerzo por lidiar con el nuevo mundo inaugurado por Gödel, alentado quizá por la propia admiración de éste por su obra, así como por la comprensión «de que la teoría de la demostración aún podía ser desarrollada de forma fructífera sin ceñirse al programa original» [75].

En cuanto a Gödel, el impacto de su artículo sería duradero. Aunque la demostración dejaba abierta la posibilidad de que se hallase algún nuevo método para demostrar la consistencia de *PM* desde el exterior, dejaba absolutamente claro que no podría llegarse a ninguna prueba semejante empleando los axiomas y las reglas de *PM*, lo cual convertía en nulas e inválidas las pretensiones de absoluta certeza de dicha obra. Gödel había llevado a su conclusión la era del proyecto totalizador, del esfuerzo de Casaubon por hallar la clave de toda la matemática, y después de 1931 nadie volvería a tratar de escribir un libro con un título tan omniabarcante como *Principia Mathematica*.

En 1944, Gödel escribía acerca del imponente tomo de Russell y Whitehead: «¿Cómo puede uno esperar resolver problemas matemáticos sistemáticamente a través del mero análisis de los conceptos que se nos presentan si hasta ahora nuestro análisis ni siquiera basta para establecer los axiomas?» [76]. Cabría esperar que se hubiera detenido aquí. Sorprendentemente, sin embargo, continúa escribiendo:

> No es preciso abandonar la esperanza. En sus escritos acerca de la *Characteristica universalis*, Leibniz no habló acerca de un proyecto utópico; si hemos de creerle, había desarrollado en gran medida este cálculo de la razón, pero aguardó a publicarlo hasta que la semilla cayese en terreno fértil.

A continuación Gödel afirma que Leibniz sostuvo que en un período de menos de cinco años «la humanidad dispondría de una nueva clase de instrumento que incrementaría los poderes de la razón mucho más allá de lo que cualquier clase de instrumento óptico haya extendido jamás los poderes de la vista».

¿Con qué grado de seriedad hemos de tomarnos este panegírico nostálgico de la antiquísima fantasía de Leibniz, la imposibilidad de cuyos fundamentos, por lo demás, Gödel más que nadie había contribuido a demostrar que eran ley? Quizá la pesadilla a la que había dado paso el sueño —el paisaje lleno de agujeros que había sustituido a la majestuosa ladera de montaña italiana de Russell— resultó ser excesiva. Gödel pasó el resto de su vida yendo y

viniendo entre Estados Unidos (sobre todo Princeton) y su Austria natal. Sus últimos años estuvieron marcados por rachas cada vez más frecuentes de enfermedad mental, durante las cuales desarrolló una fobia por las neveras y los radiadores y se encariñó desmesuradamente —al igual que Turing— con la película de Disney *Blancanieves y los siete enanitos*. Su misma muerte resultó apropiada para una carrera edificada sobre la exploración de las paradojas: convencido de que unos forasteros no identificados estaban tratando de envenenarle, se negó a comer y murió de inanición. No obstante, sus demostraciones le sobrevivieron y afectaron al ejercicio de las matemáticas puras tan profundamente como la teoría de la relatividad de Einstein afectó a la física. Con anterioridad a su artículo, los matemáticos habían tratado las paradojas lógicas como agujeros en un paisaje cuya solidez fundamental daban por supuesta. Tales anomalías, en su opinión, podían ser rellenadas o sorteadas. Pero ahora Gödel había demostrado que dicho paisaje era inestable por naturaleza. Las líneas de falla discurrían bajo la superficie. Gracias a Gödel, el paraíso se había perdido, y el nuevo terreno en el que se habían visto obligados a refugiarse los matemáticos era inhóspito en el mejor de los casos, y hostil en el peor.

Aquélla era, al menos, la perspectiva de la vieja guardia. A los matemáticos más jóvenes, la obra de Gödel les abrió la posibilidad de una visión más libre y más intuitiva de su disciplina, si bien ponía fin para siempre a los viejos sueños totalizadores. Cierto, había evidenciado que era imposible demostrar la consistencia de los axiomas, pero como ha señalado Simon Singh:

> eso no significaba necesariamente que fueran inconsistentes. En su fuero interno, muchos matemáticos todavía creían que sus matemáticas se mantendrían incólumes, pero no podían demostrarlo intelectualmente. Muchos años después, el gran teórico de los números André Weil diría: «Dios existe, ya que las matemáticas son consistentes; el demonio también, ya que no podemos demostrarlo». [77]

A Turing le habría alarmado saber que la cuestión en la que estaba hurgando era tan teológica.

3
La máquina universal

1

A pesar de que Hilbert fue el primero en hacer un llamamiento para hallar una solución al *Entscheidungsproblem*, el problema de la decisión se remonta al siglo XIII, cuando el pensador medieval Ramon Llull (1232-1316) ideó un método general de resolución de problemas al que bautizó como *ars magna*. Leibniz desarrolló la obra de Llull, tanto reclamando la fundación de un lenguaje simbólico (*characteristica universalis*) con el que resolver los problemas, como estableciendo una distinción «entre dos versiones diferentes del *ars magna*. La primera, *ars inveniendi*, encuentra todas las tesis verdaderas y la segunda, la *ars iudicandi*, permite decidir si una tesis científica es verdadera o no»[1]. El problema de la decisión, tal como lo expresó Hilbert, entra dentro del ámbito del *ars iudicandi* y puede reducirse a una cuestión de sí o no: ¿Existe un algoritmo que decida la validez de una fórmula de primer orden[1*]?

Antes de continuar, haré un aparte acerca de la palabra

«algoritmo». La historia de este término es muy interesante. El *American Heritage Dictionary* define esta palabra como «procedimiento de resolución de problemas paso a paso, en particular un procedimiento computacional establecido y repetitivo para resolver un problema en un número finito de pasos». La propia palabra se deriva del nombre de un matemático persa del siglo IX, Muhammad ibn Mûsâ al-Khowârizmi, que alrededor del 825 a.C. escribió un texto matemático muy importante, *Kitab al-jabr wa'l-muqabala* (la palabra álgebra se deriva de *al-jabr*)[2]. Como ejemplo de algoritmo, Roger Penrose cita el de Euclides[3], método para encontrar el máximo común divisor de dos números. Funciona así: se eligen dos números al azar, digamos 4.782 y 1.365. ¿Cuál es el mayor número completo que divide a ambos sin que quede resto? Para averiguarlo, primero dividimos el mayor por el menor:

$$4.782 / 1.365 = 3, \text{ resto } 687$$

Después dividimos el menor de los números, 1.365, por el resto, 687:

$$1.365 / 687 = 1, \text{ resto } 678$$

Continuando con el mismo método, obtenemos lo siguiente:

$$687 / 678 = 1, \text{ resto } 9$$

$$678 / 9 = 75, \text{ resto } 3$$

$$9 / 3 = 3, \text{ resto } 0$$

Por lo tanto, 3 es el máximo común divisor de esos dos números.

Por supuesto, algunos algoritmos son muchísimo más complejos que éste, al igual que otros son mucho más sencillos. Por ejemplo, sumar cifras a mano requiere el uso de un algoritmo simple, lo mismo que determinar si un número es primo. Existen infinitas posibilidades para cada algoritmo, ya que puede introducirse un número infinito de números. Lo importante es que el procedimiento algorítmico sea sistemático, es decir, que se garantice que el procedimiento dará con una respuesta en un período de tiempo

finito y en un número finito de pasos. En cierto modo, el *Entscheidungsproblem* podría describirse como la búsqueda de una especié de algoritmo primigenio con el que determinar la validez o demostrabilidad de cualquier razonamiento. Tal como reconoció el propio Hilbert, era mucho pedir; de hecho, lo llamó «el principal problema de la lógica matemática» [4].

Hilbert expuso su propia versión del *Entscheidungsproblem* en *Grundzüge der theoretischen Logik,* [2*] escrito a medias con Wilhelm Ackermann y publicado en 1928. El capítulo titulado «El problema de la decisión» comienza así: «La importancia fundamental de determinar si una fórmula dada del cálculo de predicados es universalmente válida o no proviene de las consideraciones de la sección anterior». [3*] [5] Según la conjetura de Goldbach: ¿Podría un algoritmo establecer su validez (o invalidez) universal, su carácter demostrable (o indemostrable)? «Por supuesto, no existe tal teorema —escribió el siempre escéptico Hardy—, y resulta muy afortunado que así sea, pues si existiera tendríamos una serie mecánica de reglas para la solución de todos los problemas matemáticos y nuestra actividad como matemáticos tocaría a su fin». [4*] [6] Sin duda, un resultado positivo habría representado un gran paso adelante a la hora de contrarrestar el efecto desalentador (para algunos) del artículo de Gödel, ya que, en principio, ese resultado equivaldría a la verificación de la percepción idealista de Leibniz del *calculus ratiocinator*. Además, no se creía que tal resultado fuera impensable. El matemático Jacques Herbrand (1908-1931), comentó en un artículo de 1931 que «a pesar de que en este momento parece imposible solucionar el problema de la decisión, todavía no se ha demostrado que sea imposible hacerlo» [8] [9]. Un resultado semejante podría incluso permitir a los matemáticos descartar los resultados de Gödel como una especie de aberración lógica del mismo tipo que la paradoja del mentiroso. Se evidencia una división casi política, en la que una facción considera como victoria lo que la otra teme traerá el colapso de la propia empresa matemática en su conjunto.

Es probable que Turing no perteneciera a ninguno de ambos grupos. Su aislamiento (por no mencionar su homosexualidad) le hacía reacio a identificarse con colectivos amplios. En particular, evitó toda afiliación política durante los turbulentos años que pasó

en Cambridge, a pesar de su ferviente (y pragmática) oposición a la guerra. De igual modo, consideró el *Entscheidungsproblem* como una simple cuestión que requería solución. Puede que fuera capaz de enfrentarse al problema de forma totalmente nueva porque lo abordó sin la esperanza de que el resultado fuera ni positivo ni negativo.

La primera vez que se topó con el *Entscheidungsproblem* fue en 1934, cuando asistía a un curso de M. H. A. «Max» Newman sobre los fundamentos de las matemáticas. Newman (1897-1984) fue un avatar de la rama de las matemáticas llamada topología, de la que el teorema de los cuatro colores es un ejemplo. La topología trata de la formalización de conceptos como la conectividad, la convergencia y la continuidad, de las propiedades de las figuras geométricas que pueden estirarse sin romperse. En el meollo de la topología se encuentra la teoría de conjuntos, que conduce a Hilbert y, a su vez, a las cuestiones que había planteado éste en la conferencia de Bolonia de 1928. A pesar de que el artículo de Gödel de 1931 estableció que el sistema axiomático expresado en *PM* era indecidible e inconsistente, el *Entscheidungsproblem*, al que Newman calificó como el problema de encontrar un «proceso mecánico» para comprobar la validez de una afirmación, seguía sin resolverse. En una nota biográfica aparecida tras la muerte de Turing, Newman resumió la situación en el momento en el que Turing eligió aceptar el reto final de Hilbert:

> El programa de la decisión de Hilbert de las décadas de 1920 y 1930 tuvo por objetivo el descubrimiento de un proceso general aplicable a cualquier teorema matemático expresado en su forma simbólica total, para determinar la verdad o falsedad del teorema. El teorema de la incompletitud de Gödel (1931) fue el primer golpe asestado a la perspectiva de hallar esta nueva piedra filosofal, y dejó claro que la verdad o falsedad de A no podía equipararse con la demostrabilidad de A o no A en una lógica de base finita, escogida de una vez por todas; pero, en principio, seguía existiendo la posibilidad de encontrar un proceso mecánico para decidir si A, o no A, o

> ninguna de las dos, era formalmente demostrable en un sistema dado. Eran muchos los que estaban convencidos de que un proceso semejante no era posible, pero Turing se propuso demostrar esa imposibilidad con todo rigor.

El verano después de ser elegido miembro de King's, Turing empezó a correr largas distancias dentro y fuera de Cambridge. Su amigo Robin Gandy escribió más tarde: «Recuerdo a Turing diciéndome que la "idea principal del artículo" se le había ocurrido cuando estaba tumbado en la hierba de la pradera de Grantchester»[10]. Gandy supuso que Turing ya «había concebido algún tipo de máquina de Turing y que lo que quería decir con la "idea principal" era que había comprendido que podía existir una máquina universal y que eso podría permitir un razonamiento diagonal». Algún tiempo más tarde, Turing compartió esa idea con su amigo David Champernowne. No se lo mencionó a Newman, al que entregó un texto mecanografiado completo en abril de 1936. La inspiración —la extraña emoción de encontrar una vía— le había llegado en soledad, y en soledad emprendió la labor de elaborar y redactar la prueba.

El resultado fue extraordinario. Anteriormente, Hardy había rechazado a las personas demasiado ingenuas como para creer que los matemáticos hacían sus descubrimientos accionando la manivela de una «máquina milagrosa». Sin embargo, es preciso recordar que Turing era célebre por la literalidad de su forma de pensar. Cuando en su conferencia Newman describió el «método definitivo» de Hilbert como un «proceso mecánico», hizo germinar en la mente de Turing una idea cuyas repercusiones serían importantísimas. La palabra «mecánico», en su sentido original, hacía referencia a un oficio manual, al trabajo llevado a cabo por seres humanos. Sin embargo, en la década de 1930, mecánico significaba mecanismo, rotores o tubos de vacío. Quería decir máquinas. Turing se tomó muy en serio ambas definiciones.

En la década de 1930, cuando comenzó su trabajo sobre el *Entscheidungsproblem*, la palabra «computadora» tenía un significado distinto al que tiene hoy en día: simplemente hacía referencia a una persona que hacía cálculos, es decir, una persona

ocupada en el uso activo de algoritmos. En la década de 1930, los cálculos requerían largas horas de trabajo humano en las que la computadora podía valerse de herramientas como los ábacos o incluso una sumadora, pero el trabajo tenía que hacerlo ella [5*]. No existía ninguna máquina computacional y, a pesar de que el excéntrico genio Charles Babbage había ideado y diseñado una en el siglo XIX, jamás llegó a construir su «motor analítico». La invención de Babbage prefiguró la «maquina universal» de Turing en el sentido de que, en principio, habría sido capaz de realizar cualquier cálculo matemático. Se diferenciaba de esta última en que Babbage no consiguió dar el paso decisivo de reconocer que las instrucciones podrían estar escritas en el mismo lenguaje matemático que el procedimiento en el que se aplicaban. En vez de eso, imaginó un aparato esencialmente industrial, basado en una máquina diseñada para tejer ricos brocados, cuyas instrucciones estaban codificadas en tarjetas perforadas. Una vez más, en el caso de Babbage, el entorno de la ciencia computacional se codeaba con el de la literatura, ya que una de sus defensoras fue Ada, condesa de Lovelace, hija de lord Byron. En efecto, Ada Byron escribió acerca del motor de Babbage: «Podríamos decir acertadamente que el motor analítico teje los dibujos algebraicos del mismo modo que el telar Jacquard borda flores y hojas». [6*] [11]

Según Gandy, cuando Turing emprendió su trabajo sobre el *Entscheidungsproblem* no conocía la máquina de Babbage [12]. Con todo, compartió con éste un enfoque que reflejaba el espíritu básicamente industrial de la Inglaterra en la que había crecido. Para Turing, la tecnología eran fábricas rebosantes de actividad humana, un entorno nada diferente al de *El hombre del traje blanco*, en el que Sidney Stratton hace su descubrimiento. La máquina que inventa se parece más a una máquina de tejer o a una empaquetadora que a un iPod, aunque con la llegada de la electrónica, también eso cambiaría.

Turing presentó sus resultados en un artículo modestamente titulado «Números computables, con una aplicación al *Entscheidungsproblem*». Terminó de redactar el primer borrador del mismo en abril de 1936; el artículo se publicó a comienzos de 1937 en *Proceedings of the London Mathematical Society*. Se divide aproximadamente en tres secciones: la primera define la idea del

«número computable» y el de la «máquina computadora»; la segunda postula el concepto de una «máquina universal» y la tercera emplea esos conceptos para demostrar que el *Entscheidungsproblem* es insoluble. Al igual que muchos de los artículos de Turing, «Números computables» está marcado por una curiosa mezcla de especulación un tanto filosófica y matemáticas muy técnicamente redactadas. El resultado es desconcertante para un lector no especializado, ya que a los pasajes cuyo significado es fácilmente comprensible le siguen invariablemente una maraña de símbolos extraños, letras alemanas y griegas y números binarios. Sin embargo, lo que resulta aún más llamativo que el estilo del artículo es la absoluta falta de pretenciosidad intelectual. De hecho, uno acaba de leerlo con la marcada sensación de que Turing no tenía ni idea de la importancia de lo que acababa de hacer.

Como suele suceder en matemáticas, la cuestión que trata el artículo parece ser, al menos superficialmente, de una sencillez increíble. «¿Cuáles —se pregunta Turing— son los posibles procesos que pueden llevarse a cabo para la computación de un número[13]?». Turing ya había definido los números computables como

> números reales cuya expresión como decimal se calcula con medios finitos. A pesar de que en apariencia el tema de este artículo son los números computables, resulta prácticamente igual de fácil definir y estudiar las funciones computables de una variable integral, una variable real o una variable computable, predicados computables, y así sucesivamente. Sin embargo, los problemas fundamentales son los mismos en cada caso, y yo he elegido los números computables para darles un tratamiento explícito, ya que requieren la técnica menos engorrosa.[14]

Tal como indica Hodges, «resulta característico de Turing que actualice la pregunta de Hilbert, formulándola no en términos de pruebas, sino de números computables. Esta reformulación permitía reivindicar con mayor claridad haber hallado una idea capital de las matemáticas»[15]. Al mismo tiempo, Turing quiere asegurarse de

que recordemos (por citar a Roger Penrose) que «la cuestión de la computabilidad es muy importante en matemáticas. […] Pueden existir máquinas de Turing que operan directamente sobre *fórmulas matemáticas*, como expresiones algebraicas o trigonométricas, por ejemplo, o que llevan a término las manipulaciones formales del cálculo diferencial»[16]. Esas máquinas son versiones técnicamente mucho más complejas de la máquina numérica que Turing postula unas frases más adelante: «Según mi definición, un número es computable si una máquina puede escribir su decimal»[17].

No debe subestimarse la importancia de esta declaración. Hablar de una hipotética «máquina» computadora, sobre todo en un artículo matemático de la década de 1930, era quebrantar las leyes de una ortodoxia muy rígida. En aquellos tiempos, ese tipo de máquinas no existía, solamente había artefactos calculadores demasiado rudimentarios para llevar a cabo operaciones matemáticas complejas y, con toda seguridad, no eran programables. Sin embargo, Turing nos ofrece esa frase sin ningún tipo de fanfarria y después —con la misma rapidez con que saca a relucir el importante concepto de la máquina computadora— la abandona para ofrecernos un esbozo de lo que contiene el resto del artículo. Solamente regresa a la cuestión de la máquina en el segundo párrafo de la segunda sección, en el que compara «a un hombre en el proceso de calcular un número real con una máquina que sólo tiene capacidad para un número finito de condiciones[18]». A estas condiciones las llama configuraciones *m*.

Turing describe luego cómo funciona la máquina. Una cinta dividida en celdas, cada una de las cuales puede estar señalada por un símbolo que la atraviesa. «En la máquina»[19] sólo puede haber una celda en cada momento. Esta celda es la «celda leída», mientras que el símbolo que alberga es el «símbolo leído». El símbolo leído «es el único, por así decirlo, que "reconoce" la máquina. Sin embargo, si se altera su configuración-*m*, la máquina puede recordar algunos de los símbolos que ha "visto" (leído) anteriormente». El comportamiento de la máquina viene determinado en todo momento por su configuración-*m* y por el símbolo leído, a los que, juntos, Turing define como la *configuración* de la máquina. Dependiendo de su configuración, la

máquina escribirá un símbolo en la celda en blanco, borrará un símbolo ya escrito en ella, o desplazará la cinta un espacio hacia la izquierda o hacia la derecha. Lo que determina cómo actuará es una «tabla de conducta», que especifica la secuencia de las configuraciones *m*, según las cuales la máquina ejecuta su algoritmo particular. «En cualquier fase del movimiento de la máquina —continúa Turing—, el número de la celda leída, la secuencia completa de todos los símbolos en la cinta y la configuración-*m* describirán la configuración completa de esa fase. Los cambios de la máquina y de la cinta entre configuraciones completas sucesivas se llamarán movimientos de la máquina» [20]. Merece la pena prestar atención a la distinción entre la configuración-*m* de la máquina, la configuración (a secas) y la configuración completa, ya que resultará relevante conforme progresa el razonamiento. A pesar de que a esta máquina se la denomina en la actualidad «máquina de Turing», el propio Turing la llamó «máquina automática» o «máquina *a*».

Antes de ver un ejemplo de cómo trabaja una máquina de Turing, merece la pena recordar que cuando Turing escribió ese artículo, en realidad no pensaba en una máquina que se pudiera construir. Ni tampoco compartía, en ese momento, el entusiasmo de Babbage a lo Rube Goldberg por las manivelas y engranajes [7*]. El ingeniero que Turing llevaba dentro aparece más tarde; cuando escribió «Números computables» su intención era que su máquina fuera un artefacto literario -la analogía, por así decirlo, con la que pudiera comunicar el concepto principal de los números computables con mayor precisión y economía-. La analogía es una herramienta muy importante a la hora de hacer comprensibles las matemáticas a las personas que no son matemáticos; lo inusitado de Turing fue que integró su analogía en su demostración. Al hacerlo se diferenció de los matemáticos que seguían rutas menos elegantes (o como habría dicho él «más engorrosas») en su búsqueda de la misma idea.

Así pues, volvamos a la idea de la computadora humana. Para no alejarnos del espíritu industrial de la época, imaginemos que pasa la vida en una fábrica o taller en el que se explota a los obreros, semejante a las estampas de dura labor descritas en las novelas de Dickens o en *El hombre del traje blanco*. Sin embargo,

esta fábrica no produce botones, abotonadores o piezas de locomotora, sino números. En ella, nutridos grupos de mujeres se sientan a mesas y cada una trabaja sin descanso en distintos algoritmos. Hay tantas mujeres como algoritmos. Una de ellas resuelve raíces cúbicas, otra descompone números compuestos en primos y otra compila tablas de logaritmos. Nuestra particular computadora, por suerte o no, es responsable de uno de los algoritmos más sencillos, aunque no menos trascendente: suma números. Debido a que ésta es una fábrica Turing, las computadoras no trabajan en cuadernos de dos dimensiones, sino en cintas unidimensionales, de las que, es de suponer, cada una tiene un suministro infinito. Esas cintas se «dividen en celdas como las de un cuaderno de cálculo infantil»[22]. Esto simplemente significa que las operaciones que la mayoría de nosotros efectuamos verticalmente, ella las hace horizontalmente. En ese momento, nuestra computadora particular está sentada delante de su cinta con un lápiz haciendo una suma:

9.251.754.803
+746.380
= _____

O, como aparecería en la cinta:

7	4	6	3	8	0	+	9	2	5	1	7	5	4	8	0	3	=

¿Cuánto nos costaría a la mayoría de nosotros ejecutar este algoritmo? Suponiendo que no utilizáramos una calculadora, sino que simplemente alineáramos los números e hiciéramos las operaciones habituales de sumar y llevar, probablemente medio minuto. Sin embargo, también podríamos cometer errores. Y lo que es más importante, para hacer esa tarea a mano, necesitaríamos dividir la operación en lo que los programadores informáticos llaman subrutinas, por la sencilla razón de que pocos de nosotros tenemos la suficiente memoria como para recordar todos los números a la vez. Turing lo admite desde el primer momento y

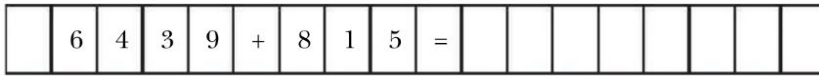
apunta que la justificación de su definición de números computables «reside en el hecho de que la memoria humana es forzosamente limitada»[23]. Lo cual viene muy al caso tratándose de lo que Turing llama «símbolos compuestos», de los que dice: «La diferencia desde nuestro punto de vista entre los símbolos simples y compuestos es que si los símbolos compuestos son muy largos, no pueden verse de un solo vistazo. La experiencia lo confirma. Con verlo solamente una vez, no podemos decir si 999999999999999 y 999999999999999 son lo mismo»[24].

En ese momento Turing introduce en su razonamiento lo que llama el «estado de ánimo» de la computadora al realizar su trabajo. Admite que los razonamientos de ese tipo «tienen que ser, fundamentalmente, apelaciones a la intuición y, por esa razón, son más insatisfactorios matemáticamente hablando. La verdadera cuestión es "¿Cuáles son los verdaderos procesos que pueden hacerse a la hora de computar un número?"»[25].

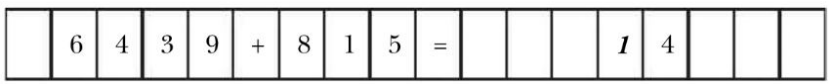
Se enfrenta a esta cuestión presentando una minuciosa explicación de lo que se le pasa por la cabeza a la computadora al hacer su trabajo. Explica que en todo momento su comportamiento está determinado por dos factores: los símbolos que ve y su «estado de ánimo». Obviamente la cantidad de símbolos que puede ver en un momento determinado tiene un límite. Por ejemplo, si me enseñan el número 352 puedo recordarlo y repetirlo sin dificultad. Por otro lado, si me muestran el número 352.798.634.001, seguramente tendré que fragmentarlo en unidades discretas para poder repetirlo. Tal como explica Turing, si nuestra computadora desea ver más símbolos de los que le permite su memoria «deberá utilizar observaciones sucesivas. También supondremos que el número de estados de ánimo que hay que tener en cuenta es finito»[26].

En realidad, Turing intenta descomponer el proceso aritmético elemental en sus partes más básicas, al igual que un niño desarma un mecanismo para ver cómo funciona. Para llevar a cabo esa tarea, escribe, la computadora debe «dividir» el algoritmo que está ejecutando «en "operaciones simples" tan elementales que no sea fácil dividirlas más»[27]. Una «operación simple» es aquella en la que «no se altera más de un símbolo. El resto de cambios puede dividirse en operaciones simples de ese tipo».

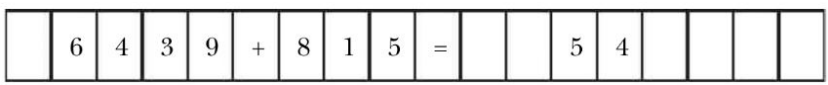
Para hacerse una idea de lo que quiere decir Turing, volvamos a nuestra computadora y su cinta. Ante ella tiene una ecuación, que lee. (Hagamos que sea corta, ya que las páginas de un libro hacen difícil imprimir un segmento muy largo de cinta).



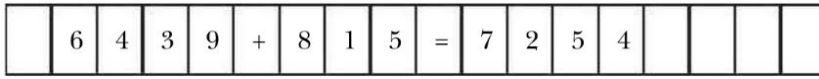
El primer número que lee es la última de los tres cifras que forman el número 815 : 5. Después lee el 9, que es la última cifra del primer número, 6.439. Uniéndolos obtiene 14. Pero para hacer el cálculo —y Turing hace hincapié en ello— sólo tiene que leer una celda cada vez. También tiene que llevarse el 1 en 14, y para hacerlo debe insertar en su cálculo una cifra que no forme parte del resultado final sino que ocupe una celda de la cinta (y de su mente) hasta que esté lista para sumar las cifras de la izquierda de los dos con los que acaba de trabajar. En este diagrama indico los símbolos temporales, imprimiéndolos en cursiva y negrita:



Las siguientes celdas que lee son el 3 del primer número y el 1 del segundo. Éstos suman 4, para lo que la computadora también tiene que sumar el 1, que es el resto de la anterior suma de 9 y 5. Por lo tanto, el 1 se borra y se reemplaza por el siguiente número permanente, que es un 5.



La computadora continúa de esta forma hasta que obtiene la respuesta requerida:



Si se quiere establecer una descripción técnica, con todas las de la ley, del procedimiento computacional es necesario abordar otros dos aspectos. El primero es el problema de lo que Turing llama «cambios de distribución de las celdas leídas»[28]. ¿Qué sucede si nuestra computadora trabaja en un cálculo sumamente difícil, uno en el que los números que haya que sumar tienen, digamos, cien dígitos? En ese caso tendría que observar y retener una secuencia de números muy larga en la cinta. Pero debido a que de un solo vistazo sólo puede leer un tramo concreto de cinta, tendrá que dividir el proceso computacional en subprocesos.

La segunda cuestión que hay que tener en cuenta es la de lo que Turing llama «reconocibilidad inmediata»[29]. Uno podría pensar que las celdas «marcadas con símbolos especiales» serían por definición «reconocibles inmediatamente» para la computadora. Eso tiene sentido: cuando calculamos, nuestras mentes distinguen instantáneamente símbolos como $+$, $-$, $=$, π y $\supseteq$ entre los símbolos que los rodean. Pero ¿qué sucede cuando nos encontramos con una *secuencia* que constituye un símbolo especial, como los números que en los artículos matemáticos se utilizan para identificar ecuaciones y teoremas? Al igual que símbolos compuestos como 999999999999999 pueden utilizarse para indicar números largos, en la «mayoría de artículos matemáticos, las ecuaciones y teoremas están numerados. Normalmente los números no van más allá de (digamos) 1.000. Pero si el artículo es muy largo podemos alcanzar el teorema 157767733443477; después, más adelante en el artículo, podemos encontrarnos "[…] por lo que (aplicando el teorema 157767733443477) obtenemos […]"»[30]. Pero al igual que una computadora humana puede comparar los dos números «cifra por cifra, posiblemente tachándolas con un lápiz para asegurarse de que no las cuenta dos veces», es posible diseñar una máquina capaz de hacer, más o menos, lo mismo.

Ahora tenemos una especie de mapa de carreteras del procedimiento con el que la computadora lleva a cabo su trabajo en la fábrica: a través de una compleja y, sí, engorrosa sucesión de

pasos —observación, reconocimiento, operación— es capaz de hacer la suma con la que empezamos: suma 746.380 y 9.251.754.803 y obtiene 9.252.501.183. Las «operaciones simples»[31] en las que se divide su procedimiento son:

a. Cambios del símbolo en una de las celdas leídas
b. Cambios en una de las celdas leídas a otra celda que se halla a [un cierto número de] celdas de una de las celdas previamente leídas.

Y puesto que «alguno de estos cambios implica necesariamente un cambio de estado de ánimo»[32], la operación simple más general será por lo tanto una de las siguientes:

A. Un posible cambio (a) de símbolo, junto con un posible cambio de estado de ánimo.
B. Un posible cambio (b) de celdas leídas, junto con un posible cambio de estado de ánimo.

«La operación llevada a cabo —concluye Turing— viene determinada […] por el estado de ánimo de la computadora y los símbolos observados. En particular, determinan el estado de ánimo de la computadora después de que se lleve a cabo la operación».

Es aquí donde Turing se permite lo más parecido a una triunfal fioritura retórica en todo su artículo. «Ahora podemos —escribe— construir una máquina que haga el trabajo de esa computadora»[33]. Y, sin embargo, para que su referencia a «estados de ánimo» no provoque un rechazo por parte de los matemáticos, que se sentirían molestos ante unos métodos tan poco ortodoxos, ofrece en primer lugar un razonamiento alternativo que se basa en la idea de una «hoja de instrucciones» proporcionada a la computadora antes de que comience su tarea. Según ese razonamiento, la computadora —¿y quién puede culparla dada la tediosa naturaleza de su trabajo?— hace un montón de pausas. Da un paso en su suma, se levanta y se come un sándwich. Da otro paso y se toma una taza de té. Da otro paso y va al baño. A esa velocidad, acabar su trabajo le costará un tiempo desmesurado, pero no importa. En esa fábrica la velocidad no es lo importante. Además, tiene su «hoja de instrucciones», que por supuesto se

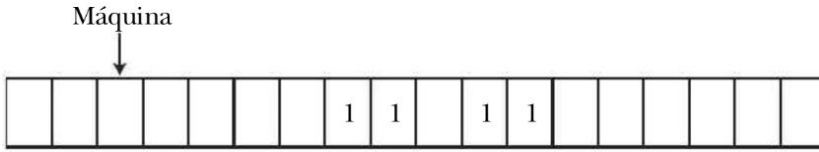
corresponde con la «tabla de conducta» con la que Turing comenzó su exposición sobre la hipotética máquina *a*.

2

Hagamos ahora el salto cinemático que reside en el meollo del artículo de Turing. De golpe los millones de mujeres de la fábrica desaparecen. Nuestra computadora desaparece, esperemos que para dedicarse a una ocupación más descansada y satisfactoria. De pronto, en su lugar hay una máquina de Turing. Es más, hay una máquina de Turing en el lugar de todas las mujeres. Una fábrica llena de máquinas de Turing, cada una de ellas ejecutando un algoritmo concreto. Concentrémonos por un momento en la máquina que ha reemplazado a nuestra amiga, la mujer que introduce las cifras. Para simplificar las cosas —y debido a que es el primer día de trabajo de la máquina— le daremos una tarea más sencilla que la de su homologa humana. Vamos a pedirle a la máquina de Turing que sume 2 y 2. **[8*]**

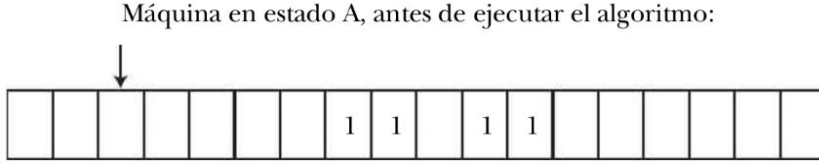
Para ello necesitamos cambiar el sistema de notación que estamos utilizando. Nuestra computadora humana ha utilizado la notación habitual arábiga, un sistema que, debido a que utiliza diez símbolos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) se conoce como sistema decimal. Sin embargo, para ejecutar el algoritmo de suma nuestra máquina utilizará el sistema unario, mucho más sencillo, que solamente requiere un símbolo: un 1. En el sistema unario, el número 2 se escribe como 11, el 3 como 111 el 4 como 1111, etc. La mayoría de nosotros utilizamos a veces este sistema cuando, por ejemplo, sumamos con los dedos.

Así pues, la cinta pasa por la máquina. Para una operación tan sencilla como una suma sólo es necesario un símbolo: el símbolo 1. Cuando la cinta se acerca a la máquina, que presumiblemente está situada en algún lugar a la izquierda de los dos grupos de números la lee así:

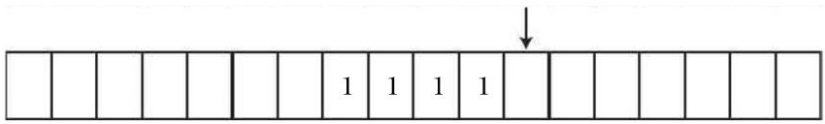


La máquina trabaja exactamente de la misma forma que nuestra computadora humana: es decir, lee una celda cada vez y después lleva a cabo una operación específica en cada una de ellas. En cada caso, la operación viene determinada por la tabla de conducta de la máquina, que en este caso está constituida por una serie de configuraciones *m*, etiquetadas cada una con una letra. Dependiendo de sus configuraciones *m*, la máquina responderá de diferente forma ante cada uno de los dos símbolos, 1 y espacio en blanco, después pasa a una nueva configuración-*m*. (A partir de aquí utilizaré de vez en cuando la palabra «estado» como sinónimo de «configuración-*m*»).

Al sumar 2 y 2 (o, como lo ve la máquina, 11 y 11), la máquina sigue la tabla de instrucciones, con el siguiente resultado. Comienza en el estado A y después se abre paso por una serie de espacios en blanco en los que no hace ningún cambio. Cuando llega al primer 1, cambia al estado B. En el estado B llega al segundo 1 y se desplaza, una vez más, una celda a la derecha. (En los 1, los estados A y B son idénticos). Entonces llega, en el estado B, a un espacio en blanco que, de acuerdo con sus instrucciones, lo borra y lo reemplaza con un 1. La máquina cambia entonces al estado C, en el que se encuentra —pero no lo cambia— el siguiente 1. Sin embargo, ha cambiado al estado D. Eso significa que borra el siguiente 1 dejando un espacio en blanco. En ese momento, la máquina se detiene, una vez realizada su operación. (En los siguientes diagramas, la flecha indica la posición del lector de la máquina).



Máquina en estado D, después de ejecutar el algoritmo:



Como puede observarse, los dos pares de 2 han sido reemplazados por un grupo de 4. Mediante un algoritmo que nunca requiere la mención de los términos usuales asociados con la suma, hemos establecido que 2 + 2 = 4.

En «Números computables», Turing ofrece dos ejemplos de máquinas *a*. Estas también requieren que hagamos uso de un nuevo sistema de notación: el sistema binario. Para entender la diferencia entre los sistemas unario, binario y decimal, resulta muy útil imaginar una escalera con infinitos peldaños, cada uno de los cuales corresponde a un número natural. En el sistema unario, los peldaños tienen la misma anchura. En el sistema decimal, los peldaños aumentan en anchura cada vez que se elevan a la potencia de 10. Es decir, los primeros 9 escalones tienen la misma anchura. En el peldaño 10 aumenta la anchura. Los peldaños conservan esa anchura hasta llegar al peldaño 100, donde vuelven a aumentar su anchura, manteniéndola hasta llegar al 1.000, y así sucesivamente. Cada vez que se produce uno de esos aumentos de anchura, se añade una cifra de más.

En el sistema binario, los peldaños de la escalera aumentan de anchura exactamente con el mismo esquema que en el sistema decimal, excepto que en vez de aumentar a la potencia 10, lo hacen a la potencia 2. De igual forma, al tiempo que en el sistema decimal se añade una cifra adicional en el 10, 100, 1.000, etc., en el sistema binario se añade una cifra de más en el 2, 4, 8, 16, etc. Sin embargo, debido a que el cambio se produce en los múltiplos de 2, el símbolo binario necesita únicamente dos símbolos frente a los 10 del decimal: 0 y 1.

La gran ventaja del sistema binario en la programación de computadoras es que permite el uso del álgebra booleana, en el que el 1 y el 0 se corresponden con la posición apagado/encendido de

una válvula, interruptor o circuito. Además, el sistema permite una codificación más económica de números largos de la que sería posible con el sistema unario. Por último, el sistema binario simplifica la codificación de letras, símbolos matemáticos y signos de puntuación, que también pueden representarse en forma binaria.

La primera de las máquinas *a* que Turing propone como ejemplos es una muy sencilla, diseñada para generar la sucesión infinita 010101… (en este caso, la elipsis indica que la sucesión continúa indefinidamente sin cambiar). Esta máquina se diferencia de la descrita anteriormente en que debe imprimir y reconocer dos símbolos: 0 y 1. Su tabla de conducta es ésta:
Una máquina de Turing un poco más complicada imprime la sucesión 00101101110111011111… Esta máquina debe ser capaz de imprimir

e, x, 0 y 1. (El símbolo raro

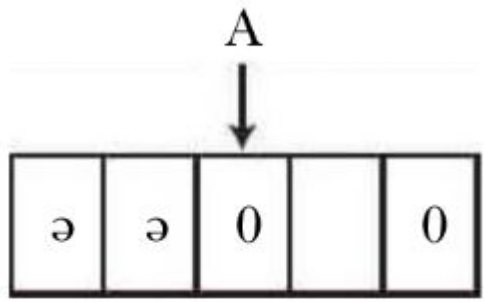
e se utiliza como un marcador de posición que indica el inicio de la sucesión y no forma parte de ella; al igual que la x, sirve para minimizar el número de pasos que necesita dar la computadora para obtener el resultado). Tal como explica Turing:

> Los primeros tres símbolos de la cinta serán «
>
>
>
> 0»; las otras cifras siguen en cuadros alternados. En las celdas intermedias no se imprime nada más que «x». Estas letras sirven para «guardar el sitio» y se borran cuando hemos acabado con ellas. También establecemos que en la sucesión de cifras de las celdas alternas no debe haber espacios en blanco. **[9*] [34]**

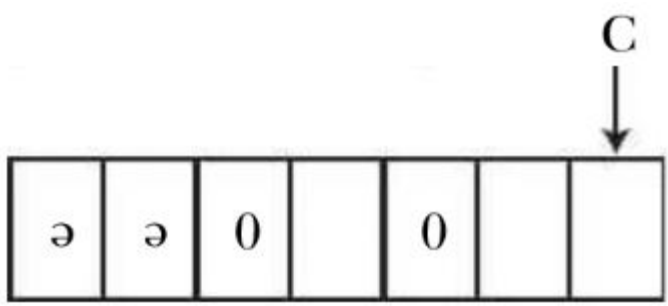
Así, la máquina «garabatea» pasos intermedios en el cálculo de modo muy semejante a como lo hacía nuestra computadora humana. Su tabla de conducta, huelga decirlo, es algo más complicada que la de anteriores máquinas. (Debido a que esta máquina requiere muchos más movimientos, deberemos utilizar L para denotar «pasa una celda a la izquierda», R para denotar «pasa

una celda a la derecha», P para imprimir y E para borrar).

Turing pasa después a mostrar las primeras secuencias de símbolos que genera la tabla, junto con las configuraciones m que entran en juego en cada paso. La cinta comienza en el estado A e imprime esta secuencia:

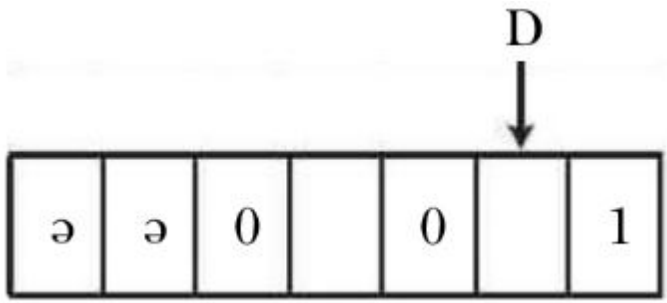


La máquina, que en ese momento está leyendo un 0, pasa entonces al estado B. Siguiendo su nuevo conjunto de instrucciones no hace sino cambiar al estado C, momento en que se le da otra serie de instrucciones con las que se le dice que vaya dos espacios hacia la derecha. Debido a que la máquina sigue en estado C y se encuentra otro 0, va dos espacios más hacia la derecha:



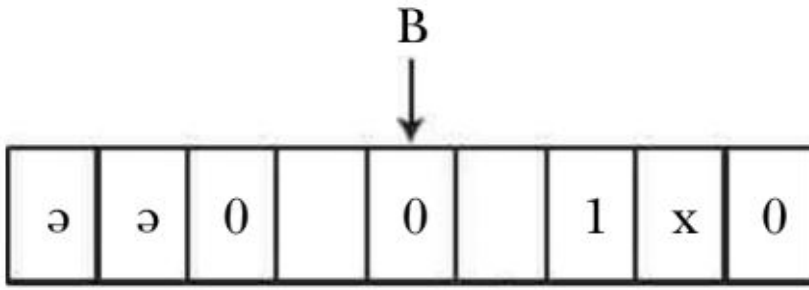
La máquina ha encontrado una celda en blanco. Tras consultar su tabla de instrucciones, ve que cuando está en el estado C, debería, al encontrarse una celda en blanco, imprimir un 1, ir una celda

hacia la izquierda y pasar al estado D:

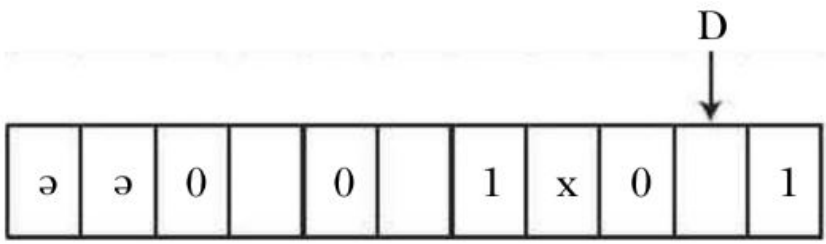


En el estado D, cuando encuentra una celda en blanco sus instrucciones son ir dos celdas hacia la izquierda, permaneciendo en el estado D. Al encontrar otra celda en blanco, la máquina va dos celdas más hacia la izquierda, donde se encuentra un

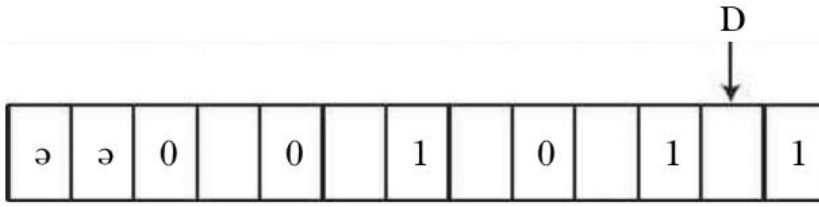
e. Su nueva orden es ir una celda hacia la derecha y pasar al estado E. Entonces lee un 0. En el estado E, sus órdenes para cualquier símbolo son ir dos celdas más hacia la derecha. Al leer otro 0 va dos celdas más hacia la derecha, donde encuentra un 1. Yendo dos celdas más hacia la derecha se encuentra un espacio en blanco. En el estado E, sus instrucciones al encontrarse un espacio en blanco son imprimir un 0, ir dos celdas hacia la izquierda (donde encuentra un 1) y volver al estado B. Siguiendo las instrucciones del estado B sobre qué hacer cuando llega a un 1, la máquina pasa una celda hacia la derecha, imprime una x y después va tres celdas hacia la izquierda:



La máquina, todavía en estado B, se encuentra ahora con otro 0. Cambia a estado C, va dos celdas hacia la derecha, encuentra un 1, va otras dos celdas hacia la derecha, encuentra un 0, va dos celdas hacia la derecha, encuentra un espacio en blanco, imprime un 1 y va una celda hacia la izquierda. Entonces la cinta queda así:

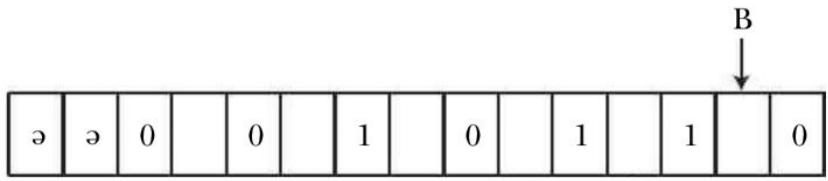


La máquina lee el espacio en blanco a la izquierda del último 1 y cambia al estado D. Va dos celdas hacia la izquierda y, después, permaneciendo en estado D, borra la x siguiendo sus instrucciones y va una celda hacia la derecha, donde lee un 0. Entonces cambia al estado C, va dos celdas hacia la derecha, lee un 1, va otras dos celdas hacia la derecha, lee un espacio en blanco, imprime un 1, va una celda hacia la izquierda y vuelve a cambiar al estado D:

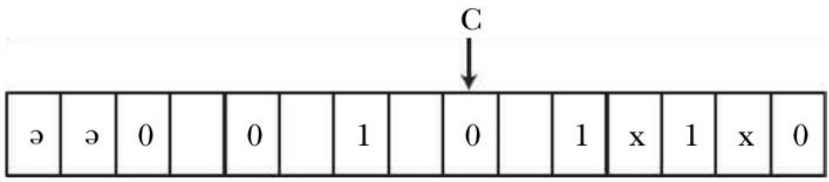


La máquina, en estado D, encuentra una sucesión de espacios en blanco, que la obliga a ir diez recuadros hacia la izquierda, donde encuentra un

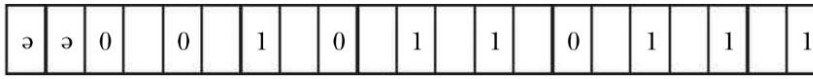
e. Sus instrucciones cuando encuentra este signo le indican ir una celda hacia la derecha y cambiar al estado E. Las instrucciones en el estado E exigen ir doce celdas en total hacia la derecha, punto en el que vuelve a encontrar un espacio en blanco. La máquina imprime un 0, va dos espacios hacia la izquierda y vuelve al estado B.



Su siguiente instrucción, en estado B, es ir una celda hacia la derecha, imprimir una x y después ir tres celdas hacia la izquierda. Esta operación se repite dos veces y se producen dos x.



Una serie de movimientos añaden un 1, borran las x y añaden otro 1. El proceso se repite hasta que obtenemos:



Hemos generado el principio de la sucesión infinita para la que se diseñó esta máquina; tenemos 0010110111…, escrito en celdas alternas. Tal como apunta Turing, «la convención de escribir las cifras sólo en celdas alternas es muy útil: lo utilizaré siempre. Llamaré celda *F* a la sucesión de celdas alternas y a la otra, sucesión de celdas *E*. Los símbolos de las celdas *E* podrán borrarse. Los símbolos de las celdas *F* forman una sucesión continua»[35]. Las celdas *E* proporcionan el borrador en el que la máquina lleva a cabo las operaciones básicas del algoritmo que está efectuando.

Leída en notación unaria, la sucesión generada por la *segunda* máquina de Turing es simplemente la sucesión de los números naturales, en la que cada número está separado por un 0 de los que tiene delante y detrás. La ecuación para la que esta máquina proporciona un algoritmo se escribirá así:

$$y = x + 1$$

y la máquina escribirá infinitamente valores para x y generará valores para y.

Por otro lado, leída en notación binaria, obtendremos la siguiente sucesión (de nuevo, los números están separados por un 0 de los números anteriores y posteriores):

1, 3, 7, 15, 31, 63, 127…

Estos números —cada uno de los cuales está escrito en notación binaria como una sucesión de unos (1, 11, 111, 1111, 11111, 111111, etc.)— tienen en común que cada uno es igual a una potencia de 2 menos uno. La ecuación para la que esta máquina de Turing proporciona el algoritmo podría escribirse así:

$$y = 2^x - 1$$

y la máquina vuelve una vez más a calcular valores sucesivos de y.

Merece la pena apuntar que en los dos ejemplos de Turing, lo

que genera la máquina no es un número computable sino una *sucesión* computable. La mayoría de las observaciones sobre la máquina de Turing ofrecen ejemplos, como el que yo he dado al principio, de máquinas que aplican un algoritmo a un grupo particular de valores (en este caso 2 y 2), encuentran una solución (en este caso 4) y después se detienen. Por el contrario, las máquinas de Turing siguen indefinidamente en marcha y cada una de ellas imprime una sucesión infinita de números enteros. Los dos tipos encajan en la definición de Stephen Kleene de un algoritmo como «un proceso descrito finitamente, suficiente como para guiarnos hasta la respuesta a cualquiera de un número infinito de preguntas, mediante muchos pasos finitos en cada una de ellas» **[36]**. Sin embargo, el primer tipo sólo ofrece una de las infinitas respuestas, mientras que el segundo las ofrece todas. Por lo tanto, en el caso del segundo ejemplo de Turing, cada una de las respuestas que genera la máquina —1, 3, 7, 15, etc.— encaja en la definición de un número computable, mientras los números tomados juntos encajan en la definición de una sucesión computable infinita. Cambiando las configuraciones de la máquina para que responda a una n concreta y después se detenga es una cuestión sencilla y no supone una gran diferencia en la tesis de Turing.

Comparativamente hablando, las dos máquinas de Turing son básicas. De hecho, uno de los principales elementos en los que hace hincapié Turing es que por cada procedimiento algorítmico, sin importar su complejidad, existe una máquina de Turing con la tabla de conducta concreta para ejecutar ese algoritmo concreto. Cada una de esas máquinas de Turing estará definida por su tabla de conducta, cuya complejidad dependerá de la complejidad del algoritmo en cuestión. Para algunos algoritmos, la tabla de conducta puede requerir docenas de configuraciones m y de símbolos. En su artículo, Turing hace un bosquejo de la computabilidad algorítmica de las máquinas de Turing para los valores de π, e, todos los números algebraicos reales y los ceros reales de las funciones de Bessel. **[10*]**

Para simplificar el proceso, Turing crea en su artículo una especie de taquigrafía para confeccionar tablas de conducta. Comienza por la tabla que corresponde a la primera de las dos

máquinas, la que imprime la secuencia 0101010101:
Después, Turing propone dar números a las configuraciones *m* y llamarlas q_1, q_2, q_3, q_4, … q_r. Además, se dan números a los símbolos, que se llamarán S_1 S_2, S_3, S_4, … S_i. En particular, S_0 querrá decir un espacio en blanco, S_1 un 0, y S_2 un 1. La tabla puede volver a escribirse como sigue:
En esta forma de notación, «ir a la derecha» se escribe como P S_0, R, y significa «imprimir espacio en blanco y después ir a la derecha». Una notación similar se hará cargo de todas las E (borrar).

Las P pueden eliminarse y escribirse toda la secuencia en una sola línea:

$$q_1\ S_0\ S_1\ \mathrm{R}\ q_2;\ q_2\ S_0\ S_0\ \mathrm{R}\ q_3;\ q_3\ S_0\ S_2\ \mathrm{R}\ q_4;\ q_4\ S_0\ S_0\ \mathrm{R}\ q_1;$$

Después, Turing asigna una letra a cada símbolo según el siguiente esquema: a q_i lo reemplazará la letra D seguida de *i* repeticiones de la letra A, mientras que a S_j lo reemplazará la letra D seguida de *j* repeticiones de la letra C. Derecha e izquierda siguen escribiéndose R y L, mientras que «sin movimiento» se escribe como H. Según este sistema, q_1 S_0 S_1 *R* q_2 se expresaría así como *DADDCRDAA*, y *DA* reemplazaría a q_2, *D* a S_0, *DC* a S_1 y *DAA* a q_2. La secuencia se leería así:

DADDCRDAA;DAADDRDAAA;DAAADCCRDAAAA;DAAAADDRDA;

Turing lo llama *descripción estándar* o S.D., de la máquina. Con todo, tiene una transformación más en mente. Al asignar un número a cada letra −1 a A, 2 a C, 3 a D, 4 a L, 5 a R, 6 a N y 7 a ;− puede representar esta descripción estándar como una sucesión de cifras. **[11*]** El número entero representado por estas cifras lo llama *número de descripción* o D.N. de la máquina. Para la máquina de la que hemos estado hablando, el número de descripción sería:

3133253117311335311173111332253
1111731111335317

Obviamente, éste es un número muy largo. Sin embargo, es microscópico comparado con los números de descripción de máquinas de Turing mucho más complejas. Para complicar más aún las cosas, en circunstancias normales, este número se escribiría en alguna versión de la notación binaria, haciéndolo más sencillo de leer para una máquina, pero más difícil para un ser humano. Ninguna de las dos cosas importa. Al igual que a la computadora humana que reemplaza, la máquina de Turing no tiene prisa. Por el contrario, debido a que vive en un universo hipotético, ajeno a las preocupaciones humanas como la velocidad o la eficacia, dispone de todo el tiempo del mundo.

3

Turing ha presentado y explicado la idea de la máquina a y ha presentado un sistema para codificar sus tablas de instrucciones. También ha establecido que, por definición, existe una máquina a para cada proceso algorítmico. Y, al igual que la sucesión 001011011101111… puede generarse por la tabla que hemos dado, «cualquier sucesión computable puede describirse en los términos de dicha tabla»[37]. Y lo que es más importante, «a cada sucesión computable le corresponde al menos un número de descripción, mientras que no hay ningún número de descripción que corresponda a más de una sucesión computable»[38]. Al igual que las sucesiones computables definen las máquinas que las generan, todas las máquinas de Turing definen una sucesión computable. La unicidad de los números de descripción permitiría incluso hacer un listado, como si fuera por orden alfabético, empezando en el 0 y siguiendo hasta el infinito. En dicha lista, para la máquina que acabamos de calcular, el número de descripción estaría en la posición 313325311731133531117311133225311117311133531 7.

Sin embargo, ¿todas las máquinas generan una sucesión

computable válida? La respuesta es que no. Algunas máquinas, tal como opina Roger Penrose, están «estropeadas». Un ejemplo de una máquina estropeada propuesta por Martin Davis sería una cuya tabla de instrucciones fuera:
Esta máquina se desplazaría sin cesar entre el 0 y el 1; no imprimiría una sucesión coherente ni se detendría. Turing denomina a esta máquina *circular*. Por otro lado, una máquina que no es circular es la que es capaz de generar una sucesión computable. Anticipando aparentemente devanarse los sesos acerca de la diferencia entre un número computable y una sucesión computable, Turing añade: «Debemos evitar la confusión hablando más a menudo de sucesiones computables que de números computables» [39].

Todas las máquinas que hemos estudiado, excepto las últimas, no son circulares. A la primera de éstas —la diseñada para sumar dos números— se le introducen unos datos y se detiene cuando consigue una respuesta; las dos máquinas que Turing da como ejemplos generan sucesiones computables. Sin embargo no será difícil diseñar una variante de la máquina que genera la sucesión 001011011101111… Recuerde que esta máquina simplemente ofrece respuestas sucesivas (e infinitas) a la ecuación $y = 2^x - 1$ conforme se le introducen números naturales del 1 en adelante. La máquina variante se diseñará para que introduzca un número natural cada vez en la ecuación y se detenga cuando dé cada respuesta. Por lo tanto, si introducimos $x = 3$ en la máquina, ejecutará un proceso que concluirá con la producción de la respuesta deseada —7— y se detendrá. Pero ¿se podría diseñar una máquina de Turing que analizara la otra máquina de Turing y decidiera si esa máquina era circular o no circular? Esta cuestión —conocida como el problema de la parada— reside en el meollo del artículo de Turing y conduce directamente al análisis del *Entscheidungsproblem*.

Las consideraciones de Turing sobre el problema de la parada le llevaron a lo que indiscutiblemente fue su salto más inesperado y original. Proponiendo un método de investigación de cómo se puede determinar si una máquina de Turing es circular o no, adelanta la idea de una «máquina universal»: una máquina de Turing que sea capaz de imitar el comportamiento de cualquier otra

máquina de Turing sin importar el algoritmo para el que se haya diseñado esa máquina. Esa hipotética «máquina universal» es la que constituye el prototipo de la computadora moderna.

La sección del artículo de Turing que describe su máquina universal comienza con su característica modestia: «Es posible —escribe— inventar una máquina que pueda usarse para calcular cualquier sucesión computable. Si a esa máquina *U* se la alimenta con una cinta en cuyo principio esté escrito el S.D. de cualquier máquina computadora *M*, entonces *U* calculará la misma sucesión que M»[40]. Recuerde que «S.D.» significa «descripción estándar», sucesión de letras a la que puede traducirse la tabla de conducta de cualquier máquina Turing y que a su vez puede traducirse en el número entero (binario o decimal) que es el «número de descripción» de la máquina.

Para explicar el comportamiento de *U*, Turing comienza proponiendo como principio una tercera máquina *M'*, «que escribirá en las celdas *F de* la cinta las sucesivas configuraciones completas de *M*»[41]. Recuerde que Turing había dicho anteriormente que la «configuración completa»[42] en cualquier fase del progreso de una máquina estaba compuesta por «el movimiento de la máquina, el número de celdas leídas, la secuencia completa de todos los símbolos de la cinta y la configuración-*m*». Como ejemplo de *M*, hace referencia a la segunda máquina mencionada en el artículo, la que generaba la sucesión 001011011101111… Al igual que la tabla de conducta de esta máquina puede traducirse, con letras, en su descripción estándar, la secuencia de movimientos que realiza la máquina conforme obedece las reglas prescritas por su tabla de conducta puede también reescribirse utilizando letras. Una vez más, cada configuración-*m* se escribe como *D* seguida del adecuado número de *A*, mientras que cada símbolo se escribe como *D* seguido del adecuado número de *C*. Al igual que antes, 0 se escribe como *DC*, 1 como *DCC* y un espacio en blanco como *D*. El signo

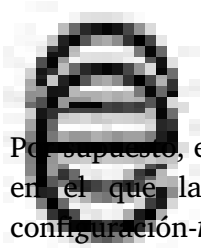
e se escribe como *DCCC* y, a pesar de que Turing no menciona la x, hay que suponer que se escribiría como *DCCCC*.

Utilizando este esquema, *M'* puede imprimir las sucesiones de los símbolos celdas *F* generados por *M*:

DA : *DCCCDCCCDAADCDDC* :
DCCCDCCCDAAADCDDC : …

La taquigrafía de Turing en este caso requiere un poco de descompresión. El primer *DA* significa que la máquina comienza en configuración-*m* A, que le dice que imprima la secuencia

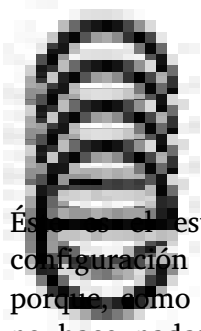
e
e
00 y después se pase a la configuración-*m* B. La segunda secuencia de letras describe la acción emprendida como resultado de esa instrucción y equivale a una abreviación de



B 0 espacio en blanco 0

Por supuesto, esto es la secuencia escrita de celdas *F* en el momento en el que la máquina pasa a la configuración-*m* C, con la configuración-*m* que ha generado esta secuencia (B) insertada entre las dos

e
y las cifras que han sido impresas en las celdas *F*: dos 0 y un espacio en blanco. Dos puntos separan esa descripción de la siguiente, que queda abreviada así:

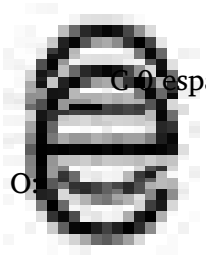


C 0 espacio en blanco 0

Éste es el estado de la máquina cuando pasa a su siguiente configuración completa. No se ha generado ninguna nueva cifra porque, como recordamos, la configuración-*m* B, al encontrar un 0 no hace nada; simplemente le dice a la máquina que pase a la configuración-*m* C. En letras, la secuencia sería así:

DCCCDCCCDAAADCDDC

La siguiente configuración completa, siguiendo la aplicación de la configuración-m C al encontrar un 0, describe a la máquina habiendo ido dos espacios hacia la derecha, pero permaneciendo en C. Sería algo así:

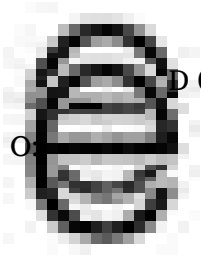


C 0 espacio en blanco 0 espacio en blanco espacio en blanco

O:

DCCCDCCCDAAADCDDCDDCDD

Ahora la máquina, todavía en configuración-m C, se encuentra ante un espacio en blanco, donde recibe instrucciones de imprimir un 1, moverse un espacio a la izquierda, y entrar en configuración-m D:



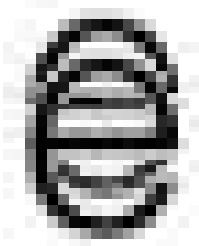
D 0 espacio en blanco 0 espacio en blanco 1

O:

DCCCDCCCDAAAADCDDCDDCC

Una vez más, los dos puntos separan las descripciones de las configuraciones completas de la máquina en cada movimiento que hace.

A :



B 0 espacio en blanco 0 :

C 0 espacio en blanco 0 :

C 0
espacio en blanco 0 espacio en blanco espacio en blanco:

D 0 espacio en blanco 0 espacio en blanco 1

O:

DA : DCCCDCCCDAADCDDC : *DCCCDCCCDAAADCDDC*
:
DCCCDCCCDAAADCDDCDD :
DCCCDCCCDAAAADCDDCDDCC

Turing concluye:

> No resulta difícil ver que si *M* puede construirse, también puede construirse *M'*. Podría hacerse de tal modo que el modo de operación de *M'* dependiera de que las reglas de la operación (p. ej. el S.D.) de *M* estuvieran escritas en algún sitio dentro de sí misma (es decir, dentro de *M'*); cada paso puede realizarse ateniéndose a estas reglas. Sólo tenemos que pensar que estas reglas pueden ser eliminadas o cambiadas por otras y tendremos algo muy parecido a la máquina universal. **[43]**

Turing describe aquí —de nuevo con poca fanfarria— un prototipo de la computadora moderna, en la que las reglas se guardan en «algún lugar dentro» de la propia máquina, el *software* dentro del *hardware*, pero pueden «sacarse y cambiarse por otras». Es un caso de intuición que resulta todavía más extraordinario por la aparente incapacidad del autor para comprender sus consecuencias.

Sólo falta una cosa: «de momento, la máquina M' no imprime cifras» **[44]**. Sólo imprime representaciones (en forma de letras) de las cifras que *M* imprimirá. Turing corrige esa omisión disponiendo que *M'* imprima «las cifras que aparecerán en la nueva configuración, pero no en la antigua, entre cada sucesivo par de

configuraciones completas». Por lo tanto, la secuencia se convierte en:

DA : 0 : 0 : *DCCCDCCCDAADCDDC:*
DCCCDCCCDAAADCDDC : …

Quitando las dos

e que, recuerde, su única función es indicar el inicio de la secuencia, las únicas cifras impresas como resultado de una configuración-*m* B son un par de 0. En un principio puede parecer un poco extraño que esas cifras estén impresas antes que las instrucciones que las generan, aunque debemos recordar que la máquina con la que estamos tratando no es *M* sino *M'* y que la función de *M'* no es generar la secuencia sino describir el comportamiento de *M* cuando genera la secuencia. Entre la segunda y la tercera descripción no aparece ninguna cifra porque, de hecho, la tercera —*DCCCDCCCDAADCDDC*— no tiene como resultado generar más ceros o unos. Por otro lado, si continuamos la secuencia, pronto veremos un 1:

DA : 0 : 0 : *DCCCDCCCDAADCDDC* :
DCCCDCCCDAAADCDDC : DCCCDCCCDAAADCDDCDD
:
1 : *DCCCDCCCDAoAADCDDCDDCC* : …

Nuestra máquina *M'* funciona ahora como una máquina universal, porque además de las configuraciones completas de *M* está imprimiendo la sucesión computable que *M* estaba diseñada para generar. Con su típica despreocupación, Turing concluye: «No queda del todo claro que los *E* cuadrados dejen espacio suficiente para el "trabajo en sucio"[45] necesario, pero esto es en realidad lo que ocurre». Finalmente apunta que «las sucesiones de letras entre los dos puntos […] pueden utilizarse como descripciones estándar de las configuraciones completas. Cuando se reemplazan las letras por cifras […] tendremos una descripción numérica de la configuración completa, que puede llamarse su número de descripción»[46]. Por ejemplo, la descripción estándar de la

configuración completa *DCCCDCCCDAAAADCDDCDDCC* se traduciría con el número de descripción 3222322231111323323322.

4

El siguiente paso de Turing es establecer la tabla de conducta de una máquina universal llamada *U*. En ese punto, el lenguaje simbólico que emplea —una combinación de letras alemanas (góticas) mayúsculas y minúsculas y letras griegas minúsculas— se vuelve totalmente confuso; de hecho, tomando prestada una frase de Roger Penrose, el sistema de tablas esquemáticas «sería más complicado de explicar que la propia complicación de la máquina»[47]. En las próximas páginas intentaré ofrecer un resumen más comprensible de sus ideas.

Recordemos que para utilizar la máquina universal *U* tenemos que introducir el número de descripción de una máquina Turing *T* concreta. Las configuraciones-*m* listadas en la tabla de conducta de *U* llevarán a la máquina a través de una serie de pasos con los que podrá deducir el proceso algorítmico que sigue *T* a partir del número de descripción de *T*. Entonces, *U* puede obtener el mismo resultado que *T*. Por lo tanto, si *T* es la máquina Turing que genera la sucesión 0101010…, y queremos que *U* imite a *T*, primeramente introducimos el número de descripción de *T*:

313325311731133531117311133225311117311133531 7

A su vez, *U* actúa según ese número de acuerdo con las instrucciones especificadas en su propia tabla de conducta, con el resultado de que genera la misma sucesión que *T*: 0101010…

Es importante admitir que en el laberinto de letras alemanas y griegas hay una explicación precisa y detallada de cómo funciona

exactamente *U*: la sucesión de las configuraciones-*m* que sigue en su camino por convertirse, por una vez al menos, en *T*. Además, no hay límite para lo que *U* es capaz de hacer. De hecho, tal como indica Stephen Kleene, en años posteriores los matemáticos:

> se habrán convencido de que todos los posibles algoritmos para funciones calculadoras teórico-numéricas podrán encarnarse en las máquinas de Turing (según las tesis de Turing). Turing proporcionó los ingredientes necesarios básicos: una cantidad finita fija de símbolos, una cantidad fija (quizá muy grande) de estados, acciones determinadas por la condición de una celda leída y el estado de acuerdo con la constitución de la máquina en particular (p. ej. su tabla), espacio ilimitado (en la cinta) para recibir las preguntas e informar de las respuestas y almacenar temporalmente el trabajo en sucio y fijar los momentos para completar los cálculos. **[48]**

Para funcionar como una máquina de Turing, todo lo que requiere la máquina universal es su número de descripción. Eso quiere decir que para operar *U*, uno necesitaría en principio elaborar una lista de los números de descripción de todas las máquinas de Turing para poder introducirlos en *U* cuando fuera necesario. (Por supuesto, esta lista incluiría el número de descripción de la propia *U*,**[49]** un número de descripción tan singular como cualquier otro. Utilizando un código diferente del de Turing, Roger Penrose proporciona el número de descripción de *U*. Tiene 1.653 dígitos y ocupa una página entera de este libro). Según la definición de Turing, alguna de estas máquinas serían circulares puesto que nunca producirían números calculables de sucesiones computables. Pero otras no serían circulares. Turing define el «número que es un número de descripción de una máquina no circular»**[50]** como un «número satisfactorio». Por analogía, el número que es el número de descripción de una máquina circular podría definirse como número insatisfactorio.

Ahora Turing puede comenzar su abordaje del *Entscheidungsproblem*. La pregunta que hace es ésta: ¿existe un

algoritmo (y por lo tanto una máquina de Turing) que pueda actuar sobre el número de descripción de otra máquina de Turing para decidir si ese número es satisfactorio? En teoría, una máquina así (llamémosla *D*) sería capaz de analizar el número de descripción de una máquina de Turing *M* y después extraer una conclusión relativa a su viabilidad. Si resulta que *M* es circular, *D* acabará sus cálculos imprimiendo un 1. Si resulta que *M* no es circular, *D* finalizará imprimiendo un 0. Si existiera la máquina *D*, esto equivaldría en algunos casos a una solución positiva del *Entscheidungsproblem* en la medida en que su veredicto sobre la circularidad o no circularidad de una máquina de Turing concreta proporcionaría un juicio sobre la decidibilidad de la tesis a la que corresponde la máquina de Turing. Por ejemplo, si un matemático intentara determinar la verdad o falsedad de la conjetura de Goldbach, simplemente tendría que introducir el número de descripción de la máquina diseñada para fraccionar números en números primos, deteniéndose solamente cuando encontrara uno que no pudiera fraccionar. Si la máquina imprimía un 1 sabría que la conjetura de Goldbach era verdad. En términos más generales, la máquina *D* podría usarse para comprobar todas las afirmaciones lógicas —incluso aquellas que no encajan en el modelo «prueba con todos los números» mencionado anteriormente— ya que, por definición, una demostración es una serie de invocaciones y deducciones axiomáticas basadas en las reglas de la deducción y, por lo tanto, un proceso comprobable mecánicamente. Una demostración debe consistir también en un número finito de frases (o listas) y que cada una emplee símbolos de un alfabeto simbólico finito. Eso significa que, en teoría, en la máquina *D* podría introducirse toda posible combinación de todos los posibles símbolos del alfabeto. Llevaría un tiempo extremadamente largo, pero, como hemos apuntado, en el mundo de Turing, el tiempo no cuenta. *D* simplemente comprobaría las posibles listas, una a una, eliminando las que no tuvieran sentido y verificando las que fueran pruebas válidas.

Pero ¿puede existir una máquina así? Turing trata esta cuestión siguiendo el método de la reducción al absurdo. Es decir, comienza con un supuesto: digamos que *D* existe. Ponemos a trabajar a *D* en la primera máquina de Turing (M_0) de nuestra lista de máquinas de

Turing y le pedimos que nos diga si cuando se le introduce el número entero m, M_0 genera una sucesión computable. En ese caso, D imprimiría un 0. Si no, D imprimiría un 1. Después hacemos lo mismo con M_1, M_2, M_3,… hasta llegar a M_n, apuntando en el trayecto qué máquinas imprimen 0 y qué máquinas imprimen 1. Las máquinas que imprimen 0 son las máquinas «buenas», las que son no circulares.

Después hacemos una lista de las sucesiones computables generadas por las máquinas no circulares, de la primera a la última. Para cada una de estas máquinas escribimos la sucesión computable que genera, mientras se le introducen números enteros diferentes empezando por 0. Obviamente será una lista muy larga; lo que es importante es que se trata exactamente del tipo de lista que se presta a un método inventado por Georg Cantor mientras efectuaba sus investigaciones sobre el infinito. Se conoce como el método diagonal.

Así es como lo utilizó Turing. Imaginemos que un trozo en alguna parte en el medio de esta lista es así:
Es necesario tener en cuenta que se trata de una lista arbitraria de secuencias computables reales. La disposición también es arbitraria porque no tiene relación con lo que vamos a hacer.

Ahora vamos a generar una nueva secuencia cortando una franja diagonal en el diagrama; es decir, cogiendo el primer número de la primera secuencia, el segundo número de la segunda secuencia, etc.
La nueva secuencia que hemos generado es ésta:
Ahora añadimos un 1 a todos los números de esta secuencia. La nueva secuencia es entonces:
Debido a que el método diagonal es el tipo de proceso algorítmico para el que uno diseñaría una máquina de Turing, obviamente se trata de una secuencia computable. Sin embargo, la lista de la que se ha derivado incluye todas las secuencias que pueden calcularse en máquinas de Turing no circulares, según la máquina D —es decir, todas las secuencias computables— y esa lista no puede incluir nuestra nueva secuencia porque difiere de la primera secuencia de la lista en su primera celda, de la segunda en su segunda, etc. Ha habido una contradicción. Por lo tanto, no puede existir una máquina D.

Tal como dice Turing, esta prueba, «aunque perfectamente

fundada, tiene la desventaja de que puede dejar al lector con la sensación de que "debe de haber algo equivocado"» [51]. Después de todo, el número generado con el método diagonal puede describirse, entonces, ¿por qué no puede calcularse? Es una cuestión importante de la que nos ocuparemos en breve. Sin embargo, en primer lugar, ofrece una prueba alternativa de que *D* no puede existir, una que no tiene la desventaja de dejar al lector con la sensación de que la máquina ha caído en un agujero y que también «da una cierta comprensión de la importancia de la idea de "no circular"» [52].

Esta prueba alternativa utiliza la máquina universal. Imaginemos que podemos unir de alguna manera la máquina decisiva, *D*, a la máquina universal, *U*, con lo que creamos una nueva máquina híbrida, *DU*. Introducimos en esta máquina el número de descripción de una máquina de Turing arbitraria *M*. Ahora *DU* hace funcionar a *D*, que determina si *M* es circular o no circular. Si *M* es circular, el proceso se detiene, puesto que no tiene sentido introducir el número de descripción de una máquina circular en *U*, que entonces reproduciría exactamente su circularidad y seguiría funcionando constantemente. Sin embargo, si *M* resulta ser no circular, podría utilizarse a *U* para simular su funcionamiento algorítmico. Debido a que *DU* lleva incluido este mecanismo de «comprobación», por medio del cual puede asegurarse de que a *U* sólo se le introducen los números de descripción de máquinas no circulares, la propia *DU* es no circular; es decir, en ningún caso entrará en circularidad.

Ahora introducimos el número de descripción de *DU* en la propia *DU*. *D* establece rápidamente que el número de descripción de *DU* es, tal como ha mostrado Turing, satisfactorio, esto es, que *DU* es no circular. Por lo tanto pasa el número de descripción a *U*, que simula la acción de *DU*, introduciendo el número de descripción de *DU* a *D*, que después se lo pasa a *U*, que después simula la acción de *DU*… y así sucesivamente. En otras palabras, cuando se introduce en *DU* su propio número de descripción, trabaja interminablemente. *DU* es circular. Pero acabamos de mostrar que *DU* es no circular. Y puesto que es imposible que *DU*

sea las dos cosas, Turing escribe: «llegamos a la conclusión de que la máquina *D* no puede existir»[53]. La decidibilidad es imposible. Volvemos al campo de la paradoja, en el que Epiménides declara que es un mentiroso y Bertrand Russell tira el carro de manzanas de Frege.

5

La siguiente maniobra en el viaje de Turing hacia la solución del *Entscheidungsproblem* presagia una estrategia que más tarde utilizó en su trabajo sobre la inteligencia artificial. Muestra que si podemos contestar una pregunta sencilla —¿existe una máquina *E* que cuando se le introduce el número de descripción de una máquina *M* de Turing arbitraria establezca si *M* imprime alguna vez un símbolo dado?— también podemos contestar una más compleja: ¿existe una máquina que pueda establecer si una fórmula lógica dada es probable o no? Si Turing quería que su prueba fuera irrefutable, satisfaciendo las demandas del rigor matemático, este paso era necesario.

Comienza una vez más haciendo una asunción de reducción al absurdo. Digamos que existe una máquina *E* y que queremos utilizarla para averiguar si *M* imprime alguna vez un 0. Introducimos el número de descripción de *M* y responde diciéndonos que *M* imprime o no un 0 durante su función. Para utilizar el propio ejemplo de Turing, si la secuencia que imprime *M* es

A B A 0 1 *A A B* 0 0 1 0 *A B*…

entonces *E* nos dirá que sí, que *M* imprime a veces un 0.

Después construimos una variante de *M*-*M*1 que imprime la misma secuencia que *M*, pero reemplaza el primer 0 con otro símbolo, digamos que %. De ese modo donde *M* imprime la

secuencia

A B A 0 1 *A A B* 0 0 1 0 *A B*…

M_1 imprime la secuencia

A B A % 1 *A A B* 0 0 1 0 *A B*…

De la misma forma, construimos una máquina M_2 que reemplaza los dos primeros 0 en la secuencia impresa por *M* con %:

A B A % 1 *A A B* % 0 1 0 *A B*…

Y así hasta M_3, M_4, …, M_n…

Después construimos otra máquina —*H*—, que, cuando se le introduce la descripción estándar de *M*, genera sucesivamente las descripciones estándar de *M*, M_1 M_2,… M_n. (En un paréntesis, Turing afirma que dicha máquina existe). Combinando *H* con nuestra máquina original «¿Hay un 0?», *E*, obtenemos una nueva máquina, *HE*. Cuando le introducimos el número de descripción de *M*, *HE* se sitúa en primer lugar en modo *H* y escribe la descripción estándar de *M*. Cambia a modo *E* y entonces *HE* determina, a partir de esa descripción estándar, si *M* imprimirá alguna vez un 0. Si la respuesta es que *M* nunca imprimirá un 0, *HE* imprime :0:. *HE* pasa entonces por el mismo proceso para M_1 M_2,… M_n, en cada caso imprime :0: si se enseña a la máquina a no escribir nunca un 0. Lo que hay que recordar es que *HE* imprimirá :0: sólo en casos en los que *M* nunca imprima ceros (p. ej. 1111111…) o cuando *M* imprima un número finito de 0 (p. ej. 00011111111…), en cuyo caso, en el mismo punto de la iteración de M_1, M_2, … M_n, obtendremos una secuencia del tipo %%%1111111… Si, por otro lado, *M* imprime un número infinito de 0, *HE* no imprimirá :0:.

El último paso recuerda a la prueba anterior de Turing de que no puede existir una máquina *D*: introducimos en nuestra hipotética máquina *E* el número de descripción de la propia *HE*. Recuerde que la función de *E* es determinar si una máquina de Turing arbitraria imprime alguna vez un símbolo dado, en este caso 0. Si a *HE* se le

enseña a no imprimir nunca un 0, *M* debe imprimir 0 infinitamente a menudo. Pero si *HE* imprime a veces un 0, entonces *M* no debe imprimir ningún 0 o un número finito de 0. Un proceso similar nos permitirá determinar si *M* imprime un número finito o infinito de 1. Debido a que todo número computable debe contener un número infinito de 0 o un número infinito de 1 (o posiblemente ambos), Turing puede concluir: «Gracias a una combinación de esos procesos obtenemos un proceso con el que determinar si *M* imprime una infinidad de cifras, p. ej., obtenemos un proceso para determinar si *M* es no circular»[54]. Sin embargo, Turing ya ha demostrado que no puede existir tal proceso. Por lo tanto la máquina *E* no puede existir.

Al final, Turing es capaz de establecer la insolubilidad del *Entscheidungsproblem*. Ya había demostrado un método para expresar numéricamente la acción de una máquina Turing dada. Ahora explica cómo representar esa acción con una fórmula lógica, que llama Un (*M*). Para los no expertos, el lenguaje simbólico que utiliza aquí parece, como mínimo, abrumador, sin embargo el salto que representa es sencillo de entender intuitivamente. Comienza enseñando cómo describir aspectos sencillos de *M* utilizando exposiciones lógicas y después codificando dichas exposiciones como fórmulas lógicas. Por ejemplo, la tesis «En la configuración completa x (de *M*), el símbolo en la celda y es S»[55] se codificará como una fórmula lógica que llama R_{s1} (x, y). De igual forma, la tesis «En la configuración completa *x* hay que leer la celda y» se codificará como *I*(x, y), la tesis «En la configuración completa x la configuración-*m* es q_m» se codificará como k_{qm} y la tesis «y es el inmediato sucesor de x» se codificará como *F*(x, y). Utilizando estas subfórmulas, Turing puede escribir la fórmula lógica Un (*M*) y después mostrar que Un (*M*) «hay que interpretarlo como en una configuración completa de *M*, S_1 (p. ej., 0) aparece en la cinta»[56]. De lo que se deduce que «si hay un método general para determinar si Un (*M*) es probable, entonces hay un método general para determinar si *M* imprime alguna vez un 0». Anteriormente, Turing había explicado que en esa utilización, la expresión «Hay un proceso general para determinar…»[57] equivale a la expresión

«Hay una máquina que determinará…». Por lo tanto, podemos concluir que si existe una máquina para resolver el *Entscheidungsproblem*, también debe existir una máquina *E*. De hecho, debe de ser por eso por lo que Turing etiquetó a esa máquina en particular con la letra *E*. Sin embargo, puesto que sabemos que la máquina *E* no puede existir, podemos concluir que el solucionador del *Entscheidungsproblem* tampoco puede existir. Por lo tanto, el *Entscheidungsproblem* no se puede resolver. Utilizando la lógica —y una máquina milagrosa—, Turing puso fin a la antigua idea de un paisaje matemático sereno y transitable.

4
Dios tiene mucha mano izquierda

1

Ahora Turing ya tenía su resultado. Había dado con la definición de toda una categoría de números, los «números computables», y en el ínterin había demostrado la insolubilidad del *Entscheidungsproblem*. Aún más importante, había introducido en el discurso de las matemáticas un concepto asombroso y original: la máquina *a*. «En la actualidad resulta difícil —escribió Newman en sus memorias— darse cuenta de la innovación tan audaz que suponía especular sobre tiras de papel perforadas según determinadas pautas en los debates sobre los fundamentos de las matemáticas…[1]» Hablar de «estados anímicos» en artículos de matemáticas constituía una innovación no menos audaz; como ha hecho notar Hodges, el argumento suplementario sobre las «instrucciones»[2] era, en muchos sentidos, un enfoque menos temerario. Y no obstante, el problema de cómo piensan los seres humanos llevaba ocupando a Turing desde al menos 1931, cuando escribió un ensayo titulado «Nature of Spirit» para la madre de Christopher Morcom. El ensayo comienza con una presentación

general de la influencia de los avances en física y mecánica cuántica sobre la concepción científica del universo, y pasa rápidamente a la cuestión del libre albedrío:

> Tenemos una voluntad que es capaz de determinar la actividad de los átomos, quizás en una pequeña porción del cerebro o en toda la extensión del mismo. El resto del cuerpo se encarga de amplificar dicha actividad. Se plantea entonces la cuestión —a la que hay que dar respuesta— de cómo está regulada la actividad de los demás átomos del universo. Es probable que por la misma ley y simplemente por los efectos remotos del espíritu, pero al no poseer aparato de amplificación alguno, parecen regulados por el puro azar. La aparente indeterminación de la física es casi una combinación de azares. **[3]**

En otras palabras, en la era de la mecánica cuántica, el azar ha suplantado al «espíritu» como principio rector que subyace necesariamente a cualquier esfuerzo por comprender el universo. ¿O no? Turing se muestra claramente ambivalente al respecto. Aunque los átomos, en su actividad, «*parecen* regidos por el puro azar» (la cursiva es mía), de hecho, «es probable que» estén sujetos a la misma «voluntad» por medio de la cual nosotros, en tanto que seres humanos, somos capaces de controlar al menos una pequeña porción de nuestros cerebros. Por consiguiente, «los efectos remotos del espíritu» no han sido totalmente desterrados.

Aquí Turing parece estar pugnando por reconciliar su compromiso con el rigor científico (un compromiso que en parte inculcó en él Christopher Morcom) y su ansia de conservar alguna clase de vínculo con el espíritu después de muerto. En efecto, en este punto el ensayo se vuelve mucho más personal, y aunque jamás se menciona a Christopher por su nombre, su fantasma gravita entre los espacios en blanco:

> Personalmente creo que el espíritu está de veras conectado eternamente con la materia, pero desde luego no siempre por el mismo tipo de cuerpo. Antes creía posible que, al morir, un espíritu iba a parar a un

> universo separado por completo del nuestro, pero ahora considero que la materia y el espíritu están tan entrelazados que eso constituiría un contrasentido. Es posible quizás, aunque improbable, que existan universos semejantes. [4]

¿Sobrevive entonces el alma al cuerpo? Si es así, ¿cómo y dónde? La cuestión es de naturaleza religiosa, pero al debatirla, Turing hace un esfuerzo deliberado por no hablar en ningún momento el idioma del misticismo o sacrificar su perspectiva «científica» objetiva. Sin duda para él habría resultado reconfortante imaginar que de algún modo el espíritu de Christopher Morcom no sólo había sobrevivido a su cuerpo, sino que había permanecido en el mismo «universo» que Turing.

> Así pues, en lo que se refiere a la relación entre el espíritu y el cuerpo, considero que el cuerpo, en razón de su condición de organismo viviente, puede «atraer» y retener a un «espíritu»; en tanto que el cuerpo esté vivo y despierto, existe una conexión firme entre ambos. Cuando el cuerpo dormita no puedo ni imaginar lo que sucede, pero cuando el cuerpo fallece, el «mecanismo» del cuerpo, que retiene al espíritu, desaparece, y antes o después el espíritu encuentra un nuevo cuerpo, quizá de forma inmediata.
>
> Por lo que respecta a la propia cuestión de por qué tenemos cuerpos, por qué no podemos vivir tan libres como espíritus y comunicarnos como tales, es probable que pudiéramos hacerlo, pero entonces no habría nada en absoluto que hacer. El cuerpo le proporciona al espíritu algo de lo que cuidar y hacer uso. [5]

Hay algo intensamente íntimo y conmovedor en este pasaje, redactado para consolar a la madre de un muchacho al que Turing adoraba, y con cuyo «espíritu» esperaba seguir «conectado» por medio de su cuerpo. Más de dos décadas antes, Forster había prologado *La mansión* [1*] con las palabras «Con sólo construir un puente…» [6]. La frase reaparece en el capítulo veintidós de la novela, donde Forster escribe, «Con sólo construir un puente entre

la prosa y la pasión, ambas resurgirían y el amor humano llegaría a su cima. No más vida fragmentaria». La exhortación de Forster puede interpretarse como un llamamiento a construir un puente entre el cuerpo y el alma, lo que le opone a Clive Durham, quien es capaz de mantener su relación con Maurice sólo en la medida en que la sexualidad no desempeñe papel alguno en ella; lo que hacia el final de la novela escandaliza a Clive, no es sólo el descubrimiento de que Maurice está a punto de darse a la fuga con el guardabosques de Clive, Alec Scudder, sino el enterarse de que Maurice y Alec han «compartido». Turing, por el contrario, concluye su ensayo con un apasionado alegato a favor de lo físico que hace pensar en la posibilidad de que Forster ejerciera una influencia indirecta sobre él. De no ser por el cuerpo, que «proporciona al espíritu algo que de lo que cuidar y hacer uso», cabe suponer que el espíritu languidecería. Sin la presencia del cuerpo para otorgarle expresión, el espíritu sigue siendo una abstracción de la que a largo plazo no puede derivarse sustento alguno.

Como ha observado Hodges, «Nature of Spirit» anticipa sus investigaciones sobre la cuestión del libre albedrío y el determinismo —el grado en que el espíritu controla el cuerpo y viceversa— que más tarde constituirían el eje central de «Números computables». Al fin y al cabo, los dos puntos de vista que Turing aborda aquí son análogos a los argumentos acerca del «estado anímico» y las «instrucciones» de «Números computables». Y no obstante, la idea de investigar un «estado anímico» podría haber tenido también su origen en el King's College. En efecto, en su descripción de la «religión» en los *Principia Ethica* de E. M. Moore, John Maynard Keynes también había empleado el término «estado anímico», cuando escribió que, para él y sus compañeros Apóstoles (sociedad de tertulias de Cambridge), «los estados anímicos no estaban asociados con la acción, el logro o sus consecuencias. Consistían en estados de contemplación y comunión atemporales y apasionados, en gran medida carentes de relación con el "antes" o el "después". El valor de dichos estados anímicos», proseguía Keynes

> dependía, de acuerdo con el principio de unidad orgánica, de un estado total de cosas que no podía

> analizarse por partes de forma provechosa. Por ejemplo, el valor del estado anímico del enamoramiento no dependía sólo de las propias emociones, sino también de la dignidad de la persona objeto de amor y de la reciprocidad y naturaleza de las emociones de ésta; pero no dependía, si mal no recuerdo —o no dependía demasiado— de lo que sucediera o de cómo se sintiera uno al respecto… [7]

A primera vista, el universo de la «contemplación apasionada» y de la amistad romántica de Keynes parece muy lejano al de Turing, con sus ordenadores humanos que ejecutan operaciones algorítmicas. Y no obstante, existe un elemento en común. A ambos hombres les animaba el impulso de analizar la aprehensión mental de la experiencia y descomponerla en unidades diferenciadas: en el primer caso, «los estados de contemplación y comunión atemporales y apasionados, en gran medida carentes de relación con el "antes" o el "después"» y en el otro los «momentos» —las configuraciones-m — en los que puede subdividirse un procedimiento de computación. Por añadidura, bajo la superficie de ambos análisis de lo psíquico, subyace un acuerdo tácito de que, si han de poseer relevancia alguna, tales estados han de adoptar forma física. El cuerpo está implícito en el ensayo de Keynes, del mismo modo que la posibilidad implícita de que una máquina a podría llegar a construirse reverbera en el empleo hipotético e incluso abstracto de la analogía mecánica por parte de Turing.

2

Turing terminó de redactar la primera versión de «Números computables» en la primavera de 1936. Resulta difícil especular acerca de si, a esas alturas, era consciente de hasta qué punto llegarían a ser trascendentales sus ramificaciones. En muchos aspectos él era un heterodoxo tan poco plausible como Gödel, de

cuyos resultados se esforzó mucho por distinguir los propios:

> Probablemente debería hacer notar que lo que yo voy a demostrar es muy distinto de los célebres resultados de Gödel. Éste ha demostrado que (en el formalismo de *Principia Mathematica*) existen proposiciones **U** tales que ni **U** ni $-\mathbf{U}$ son demostrables. Por consiguiente, concluye que no puede suministrarse demostración alguna de la consistencia de *Principia Mathematica* (o **K**) en el seno de dicho formalismo. Yo, por mi parte, mostraré que no existe un método general que nos permita decir si una determinada fórmula **U** es demostrable en **K** o, lo que viene a ser lo mismo, si el sistema que consiste en **K** más el añadido de $-\mathbf{U}$ como axioma suplementario es consistente. **[8]**

El resultado de Turing hacía hincapié en el proceso. Cierto, su artículo tomaba como punto de partida la idea gödeliana de que las operaciones matemáticas que involucraban números podían expresarse *como* números. Pero luego, su fascinación con la mente condujo a Turing en una dirección distinta a la de Gödel, que se autoproclamaba «platónico» y «matemático realista» y que en una ocasión se embarcó en una demostración ontológica de la existencia de Dios **[9]**. En muchos aspectos, Gödel era un antiformalista. Como dijo en una carta enviada a Hao Wang (7 de diciembre de 1967):

> He de agregar que mi concepción objetivista de las matemáticas y de las metamatemáticas en general, así como del raciocinio transfinito en particular, resultó también fundamental para el resto de mis trabajos en materia de lógica.
>
> ¿Cómo, en efecto, podría uno pensar en *expresar* las metamatemáticas *en* los propios sistemas matemáticos, si se considera que estos últimos consisten en símbolos carentes de significado que sólo adquieren una especie de significación sustitutiva *a través* de la metamatemática? **[10]**

A diferencia de las de Turing, las inquietudes de Gödel no eran de la clase que le conduciría inevitablemente a enfrentarse al *Entscheidungsproblem*. Y no obstante, el resultado de Turing, una vez que llegó a él, poseía un sabor característicamente gödeliano: es decir, que de algún modo, su respuesta no era una respuesta, ya que en realidad lo único que había demostrado era que el propio problema de decisión era un ejemplo de problema indecible. Pero, por otro lado, el artículo de Turing era inmensamente constructivo, en el sentido de que exponía una nítida teoría de la computabilidad a la vez que daba ejemplos concretos de grandes clases de números computables[2*]. El artículo también ponía en circulación el primer modelo realmente utilizable de una máquina de computar[3*]. Nada importa que esta máquina, al menos en un principio, fuese hipotética; su simplicidad era, en muchos aspectos, su mayor virtud.

En abril de 1936, Turing entregó el borrador de «Números computables» a Newman. En un principio, según Solomon Feferman, Newman se mostró «escéptico ante el análisis de Turing, pensando que nada tan sencillo en su concepción básica como las máquinas de Turing podía emplearse para dar una solución a aquel extraordinario problema»[11], pero pronto se convenció y animó a Turing a publicar el artículo. Naturalmente, éste estaba eufórico. A la edad de veinticuatro años, estaba a punto de hacer una contribución de fundamental importancia a su disciplina, de la clase que afianzaría su posición en Cambridge y conduciría a un aumento de su mísero estipendio de trescientas libras anuales. Todo parecía ir a las mil maravillas. Y entonces surgió una dificultad.

Aquel mes de mayo, Newman recibió por correo una separata de un artículo de Alonzo Church, matemático de la Universidad de Princeton, titulado «Un problema insoluble de la teoría de los números elementales». El artículo presentaba un sistema denominado cálculo lambda, desarrollado por Church en colaboración con sus discípulos Stephen Kleene y John Barkley Rosser, y después empleaba dicho sistema para proponer una definición de «λ-definibilidad» que, de hecho, era sinónima de la definición de computabilidad de Turing. Lo peor para este último era que en un segundo artículo, Church utilizó el concepto de λ-definibilidad para demostrar que el *Entscheidungsproblem* era insoluble. Al primer artículo, aunque había sido presentado ante la

American Mathematical Society el 19 de abril de 1935, le había costado un año atravesar el charco; el segundo apareció en el *Journal of Symbolic Logic* en el mismo momento en que Turing estaba terminando la primera redacción de «Números computables».

Newman compartió la noticia de los artículos de Church con Turing, para quien constituyó toda una sorpresa. Una vez más —como había pasado en Sherborne, como con Sierpinski, como con su disertación— la historia le tomaba la delantera a escasos metros de la meta. «Church», como le explicó a su madre, estaba «haciendo lo mismo de forma distinta»[14]. Pero ¿significaba aquello que su propio artículo era impublicable? Newman, para gran alivio de Turing, no opinaba así. Por el contrario, le contó éste a su madre: «El señor Newman y yo hemos decidido que el método es lo suficientemente distinto [al de Church] como para que la publicación de mi artículo también esté justificada». Newman sugirió incluso que Turing acudiese a Princeton para estudiar con Church, y con esa finalidad le escribió una carta a éste en la que le explicaba a grandes rasgos la situación:

> Una separata del artículo en el que define usted los «números calculables» y en el que demuestra que el *Entscheidungsproblem* para la lógica de Hilbert es insoluble, que tuvo la amabilidad de enviarme recientemente, resultó ser de un interés más bien doloroso para un joven de aquí, A. M. Turing, que estaba a punto de mandar a publicar un artículo suyo en el que había empleado una definición de «Números computables» con idéntico objetivo. Su enfoque —que consiste en describir una máquina que obtenga cualquier secuencia computable— es bastante distinto al suyo, pero parece tener gran mérito, y creo que sería muy importante que fuese a trabajar con usted el año que viene si eso fuera posible.[15]

A Newman le preocupaba, incluso en aquella etapa temprana, que la costumbre de Turing de trabajar en solitario acabase perjudicando su carrera. Más tarde, en sus memorias, Newman escribió que la «marcada preferencia [de su antiguo alumno] por

desarrollarlo todo a partir de primeros principios en lugar de tomar cosas prestadas de otros… otorgaba frescura e independencia a su obra, pero también la ralentizaba, y más adelante lo convirtió en un autor difícil de leer»[16]. Por regla general, la mayoría de matemáticos trabajan solos, con lápiz y papel (o una pizarra y un trozo de tiza) como únicas herramientas; aun así, en los círculos matemáticos, un exceso de aislamiento tiende a estar mal visto. Trabajar solo, como hacía Turing, tenía ventajas y desventajas. De un lado, como sostendría Gandy más tarde, «podría decirse sin faltar del todo a la verdad que el análisis de Turing tuvo éxito porque no estaba familiarizado con el trabajo de otros… el enfoque es novedoso, el estilo resulta refrescante por su carácter directo y sencillo… alabemos la mente despejada»[17]. Por el otro, el desconocimiento de Turing acerca de en qué andaban metidos sus contemporáneos supuso que el artículo de Church le pillara por sorpresa. Resultaba que la cuestión de la computabilidad era algo que se respiraba en el ambiente matemático de mediados de la década de los treinta. No sólo Church, Kleene y Rosser, sino también Gödel, Jacques Herbrand y Emil Post habían estado trabajando sobre la cuestión, que cada uno de ellos describió mediante su propia terminología: la «calculabilidad efectiva» de Herbrand, equivalía a la «λ-definibilidad» de Church, al concepto de «función recursiva»[4*] de Gödel y al de número computable de Turing, del mismo modo que la formulación de Post para el «proceso finito 1» (desarrollado con conocimiento del trabajo de Church, aunque no del de Turing, y publicado también el *Journal of Symbolic Logic en* 1936), presentaba una semejanza asombrosa con la máquina *a* de Turing:

> La siguiente formulación… supone dos conceptos: el de un *espacio simbólico* en el que ha de llevarse a cabo el trabajo que conduce del problema a la respuesta, y un *conjunto de direcciones* fijas e inalterables que dirigirá a su vez las operaciones en el espacio simbólico y determinará el orden en el que habrán de aplicarse esas direcciones.[19]

En lugar de emplear la metáfora de la máquina, Post preveía una

especie de fábrica dividida en «cajas», en la que «el solucionador de problemas o trabajador ha de desplazarse para trabajar… siendo éste capaz de estar dentro y de operar en sólo una caja a la vez. Y aparte de la presencia del trabajador, una caja puede admitir sólo dos posibles condiciones, esto es, estar vacía o sin marcas, y llevar una sola marca, digamos un trazo vertical». Aunque Post fuera norteamericano y enseñase en el City College de Nueva York, su marco de referencia era el mismo espíritu de la fabricación en serie que permea de cabo a rabo *El hombre del traje blanco*[5*]. No obstante, su sucesión de cajas es literalmente análoga a la cinta de Turing, del mismo modo que su «trabajador» es análogo a la máquina *a*. En efecto, la exactitud del paralelismo entre la formulación de Post y la máquina de Turing otorga credibilidad a la concepción platónica de las matemáticas como un proceso más de descubrimiento que de invención. Era como si, ávida por hallar expresión, una idea brotara de la naturaleza misma. Y aunque Church gozaba de la ventaja muy real de ser el primero en partir de la línea de salida, aún no estaba claro si al final su cálculo lambda resultaría ser el más utilizable, el más pragmático o el más convincente de los enfoques existentes.

3

El propio Church era un personaje decididamente extraño. Nacido en Washington D. C. en 1903, pasó prácticamente toda su vida adulta en Princeton, donde obtuvo la licenciatura, el máster y el doctorado antes de convertirse en profesor en 1929. El único período de tiempo que pasó lejos de Princeton fue en 1927 y 1928, cuando como beneficiario de una beca nacional de investigación, estudió en Harvard, en Göttingen con Hilbert y en Amsterdam con Brouwer. En unas memorias de los años que pasó en Princeton, el matemático italiano Gian-Carlo Rota describió a Church como «un cruce entre un oso panda y un búho de gran tamaño. Hablaba lentamente y en párrafos enteros que parecían leídos de un libro, de

modo uniforme y con una enunciación lenta, como si fuera una máquina parlante. Cuando se le interrumpía, hacía unas pausas largas e incómodas antes de recobrar el hilo del razonamiento» [20].

Church era célebre por permanecer en vela trabajando durante toda la noche, y por dejar sus notas —cuidadosamente marcadas con lápices de colores— para que la secretaria del departamento de matemáticas las encontrase y las mecanografiase por la mañana. Aparte de la docencia y de dirigir la sección de reseñas del *Journal of Symbolic Logic*, que ayudó a fundar en 1936, sus contribuciones al departamento eran escasas; es más, a menudo su inasistencia a las comisiones del departamento era causa de asombro y puede haber sido uno de los motivos por los que no fue ascendido a catedrático hasta 1947, dieciocho años después de ingresar como profesor en el departamento.

Circulaban rumores acerca del carácter distante de Church. Su colega Albert Tucker recordaba que el vicerrector de profesorado de Princeton le contó «que a menudo se encontraba con Church cuando atravesaba el campus, que se dirigía a él y que éste no le contestaba» [21]. Cuando en la sala de profesores del departamento se servía el té de la tarde, Church solía llegar «hacia el final de la sesión, recogía la leche o la nata que hubiese quedado en las jarras, la vertía en una de las teteras casi vacías y se bebía aquella mezcla de leche y té. Después se marchaba a su despacho, donde trabajaba hasta altas horas de la noche» [22]. El estilo de sus conferencias era pedante y excesivamente meticuloso, lo que dio pie a la siguiente ocurrencia: «Si Church dijo que es obvio, entonces hace media hora que todo el mundo se dio cuenta» [6*] [23].

Su comportamiento tendía hacia lo compulsivo. Por ejemplo, según recuerda Rota, poseía una inmensa colección de novelas de ciencia ficción, cada una de las cuales estaba señalada de forma críptica, bien con un círculo o bien con una cruz. En algunos casos, corregía cifras erróneas en los márgenes del índice. Sus clases, prosigue Rota, invariablemente «comenzaban con una ceremonia de diez minutos de duración de borrado de la pizarra, hasta que ésta quedaba absolutamente inmaculada. Tratábamos de evitarle el esfuerzo borrándola antes de su llegada, pero de nada servía. No se podía prescindir del ritual, el cual requería con frecuencia agua, jabón y cepillo, al que le seguían otros diez minutos de silencio

total mientras la pizarra se secaba». Las clases no requerían ser preparadas, ya que consistían en recitados literales de textos mecanografiados preparados a lo largo de veinte años y guardados en la biblioteca de Fine Hall. En las raras ocasiones en las que Church se sentía obligado a desviarse del texto preparado, antes de hacerlo, advertía de ello a los alumnos.

Hasta cierto punto, la puntillosidad de Church formaba parte integral de su talento como lógico; como ha señalado Tucker, «era completamente ajeno a todo lo que sucedía en el mundo salvo en lógica matemática»[24]. De acuerdo con Rota, Church jamás hacía afirmaciones sencillas del tipo «está lloviendo», porque «una afirmación semejante, tomada de forma aislada, está desprovista de sentido… en su lugar habría dicho: "He de posponer mi salida para Nassau Street, dado que está lloviendo, hecho que puedo verificar asomándome a la ventana"»[25]. El cálculo lambda era igualmente impecable en su precisión; en palabras de Kleene, poseía «el sorprendente rasgo de que [todo él] estaba contenido en una formulación muy sencilla y casi inevitable, que surgía en conexión natural sin ideas preconcebidas acerca del resultado»[26]. Con todo, sostenía Kleene, «para hacer plausible la calculabilidad efectiva —es más, yo diría que para hacerla obvia—, la computabilidad de Turing [poseía] la ventaja de apuntar directamente a la meta…»[27]. Las «definiciones-λ» de Church podrían ser más «convenientes», como dijo con modestia el propio Turing, pero la máquina *a* «posiblemente fuera más convincente»[28].

Por extraño que parezca, cuanto más pequeño es el ruedo académico, más suele haber en juego. En 1936, la disciplina de la lógica matemática no sólo tenía escasos seguidores sino que estaba un tanto mal vista entre la comunidad matemática general, en particular en Estados Unidos. Como recordó Church en una entrevista con William Aspray llevada a cabo en 1984, «no eran muchos los que estaban interesados en este campo, y estaba en cierto modo justificado no considerarlo un campo respetable. Se publicaban muchas tonterías bajo ese encabezamiento»[29]. Que pocos matemáticos se interesarían por algo tan críptico como el *Entscheidungsproblem*, sin embargo, no hacía que la resolución del mismo fuera menos significativa para los dos hombres, cada uno de los cuales se veía a sí mismo como el vencedor de una batalla que

llevaba siglos disputándose. Además, ambos estaban necesitados de reconocimiento. En 1936, al fin y al cabo, Church sólo contaba treinta y tres años, nueve más que Turing. Seguía siendo profesor adjunto y no tenía otros medios de mantener a su familia (la cual incluía a su padre, un juez jubilado) más allá de su salario de Princeton. En matemáticas, la promoción sólo llega por medio de publicaciones relevantes, juzgadas meticulosamente por las autoridades de su campo. Para Church era tan importante poder reivindicar la solución del *Entscheidungsproblem* a través de la «tesis de Church» como para Turing poder hacerlo por medio de la «tesis de Turing»[7*]. No obstante, en la entrevista que tuvo lugar con Aspray en 1984, cuando Church tenía ochenta años, se mostró curiosamente esquivo sobre la cuestión de cómo oyó hablar por primera vez de Turing y de «Números computables». En efecto, el intercambio de palabras resulta revelador tanto por lo que silencia como por lo que dice:

> Aspray: Si no le importa, me gustaría hacerle algunas preguntas más acerca de esta cuestión, que para mí tiene particular interés ya que escribí mi tesis sobre Turing. ¿Cómo oyó hablar usted del trabajo de Turing?
>
> Church: Bueno, Turing oyó hablar del mía al ver el artículo publicado en el *American Journal of Mathematics*. En aquel entonces su propio artículo estaba, en lo fundamental, listo para la publicación, posiblemente del todo. En cualquier caso, acordó con una revista británica publicarlo rápidamente y apareció unos seis meses después. En torno a la misma época, creo, Newman, me escribió al respecto desde Inglaterra. **[30]**

Aparte de los errores de cronología, lo que choca en este pasaje es que Church responde a la pregunta: «¿Cómo oyó hablar del trabajo de Turing?» como si la pregunta fuera: «¿Cómo oyó hablar Turing de su trabajo?». Para Turing —le cuenta Church a Aspray— la noticia de sus propios resultados «supusieron una gran desilusión». En ningún momento nos enteramos de cómo se tomó Church la noticia de los resultados de Turing.

Había una cuestión indiscutible: aunque los métodos empleados por Church y Turing no podrían ser más diferentes —más aún, era la singularidad de los métodos de Turing lo que hacía tan chocante su artículo— las conclusiones a las que llegaron eran idénticas. Eso significaba que Turing tendría que hacer mención de Church antes de publicar «Números computables», y por tanto, ese mes de agosto esbozó como apéndice de su artículo una demostración de la equivalencia entre su noción de la computabilidad y la de λ-definabilidad de Church, tras lo cual envió el manuscrito por correo. Church parecía dispuesto a acogerle en Princeton, y el 23 de septiembre, la madre de Turing se despidió de él en Southampton, donde subió a bordo del transatlántico *Berengaria* con un pasaje de tercera. Entre los objetos que llevó consigo se encontraban un viejo violín que había hallado en el mercado de Farringdon Road de Londres y un antiguo sextante. «De todas las cosas extrañas que podía llevar —escribió su madre—, en mi opinión la palma se la lleva una anticuada caja de sextante. Aunque tomó algunas mediciones, con los movimientos del barco, un defecto del instrumento y la inexperiencia de Alan, éste ponía en duda la precisión de las mismas»[31]. Turing encabezó una carta enviada desde el *Berengaria* 41º 20' N. 62° W.[32].

Llegó a Nueva York el 29 de septiembre. Desde la fundación en 1932 del *Institute for Advanced Study*, Princeton se había convertido rápidamente en el Göttingen del siglo XX, y pese a que el instituto seguía siendo una entidad separada del departamento de matemáticas de la universidad, el hecho de que ambos estuvieran ubicados en Fine Hall hacía que la distinción entre ambos fuera puramente formal. Turing le escribió a su madre:

> El departamento de matemáticas de este lugar está completamente a la altura de lo que me esperaba. Están presentes un gran número de los matemáticos más distinguidos: J. V. Neumann, Weyl, Courant, Hardy, Einstein, Lefschetz, además de una pléyade de peces menos gordos. Por desgracia, no hay tanta gente de lógica como el año pasado. Church sí, claro; pero Gödel, Kleene, Rosser y Bernays, que estaban aquí el año pasado, se han marchado. No creo que me importe

demasiado perderme a ninguno de ellos salvo a Gödel. Kleene y Rosser son, supongo, simples discípulos de Church y no tienen mucho que ofrecer que no pueda aportarme Church. Bernays, me parece, se está quedando bastante «anticuado»; ésa es, al menos, la impresión que para mí desprenden sus escritos, pero si llegara a conocerle, la impresión podría ser distinta. **[33]**

En los años 30 se tomaron una serie de fotos de pasaporte de Alan Turing. (King's College Library, Cambridge).

De hecho, Bernays había sido uno de los discípulos de Hilbert en Göttingen; en fecha tan reciente como 1930 había expresado su fe optimista en que acabaría por encontrarse una solución positiva al *Entscheidungsproblem* [34]. En cuanto a Hardy, en su calidad compartida de homosexual de Cambridge, podría haber sido, cabe suponer, un posible mentor de Turing. Por el contrario, según informó Turing, «se mostró muy distante, o quizá fuera timidez. Le conocí en las habitaciones de Maurice Pryce [8*] el mismo día que llegué, y no me dijo una sola palabra. Sin embargo, ahora se muestra mucho más amigable» [35].

Como la mayoría de estudiantes de doctorado del departamento de matemáticas, Turing pasó prácticamente todo su tiempo en Fine Hall, un edificio de ladrillo rojo de tres plantas con unas recargadas ventanas de grandes bisagras y un tejado de pizarra. A pesar de sus fruslerías góticas, Fine Hall sólo llevaba abierto desde 1931. El matemático Oswald Veblen (1880-1960), mentor de Church e inspirador de su construcción, además de sobrino del economista Thorstein Veblen, pretendía emular así la arquitectura de Oxford y Cambridge. Aunque fuese natural de Iowa y de descendencia noruega, Veblen tenía tendencias marcadamente anglofilas; había enseñado en Oxford y estaba casado con Elizabeth Richardson, hermana del físico británico Owen Willans Richardson. Quizá por ello concebía Fine Hall como una especie de colegio de Oxford por derecho propio, pese a estar pensado para el uso exclusivo de los matemáticos y físicos. Así pues, al igual que en los colegios de Oxford existían salas de reunión en las que los estudiantes podían mezclarse con los profesores y salas de profesores en las que estos últimos podían reunirse para tomar oporto, en Fine Hall había una sala común (análoga a una sala de reunión de Oxford) abierta a todo el mundo (se encontraba situada de manera que había que atravesarla para ir a la biblioteca), así como una sala reservada para uso exclusivo del profesorado, de acuerdo con el principio «no siempre comprendido por quienes trataban de fomentar unas relaciones más estrechas entre profesores y alumnos, de que en todas las formas de contacto social, las medidas destinadas a preservar la intimidad son tan importantes como las destinadas a fomentar la accesibilidad» [36]. En aquella «sala de profesores», éstos podían charlar o leer delante de un elaborado hogar de

madera rodeado por tallas de imágenes matemáticas, entre ellas la de una mosca explorando la banda de Moebius. Sobre la repisa se encontraba una cita de Einstein, «Raffiniert ist der Herr Gott, aber boshaft ist er nicht», la cual fue traducida por el físico matemático H. P. Robertson como «Dios es espabilado, pero sin mala intención». Algunas de las ventanas estaban divididas en poliedros, mientras que en los cristales emplomados de otras había grabadas fórmulas, $E = mc^2$ entre ellas.

Se hacían tantos esfuerzos por imitar los rituales de Oxbridge como por imitar su arquitectura; por consiguiente, en el Graduate College, los estudiantes acudían a cenar con capa, en tanto que en la sala de reuniones de Fine Hall, todos los días a las tres se servía té. Y a pesar del té, en la sala de reuniones reinaba un ambiente marcadamente informal (y marcadamente estadounidense) que no se asemejaba en nada al existente en el King's College. Los estudiantes con poco dinero pasaban allí casi todo su tiempo, regresando a sus habitaciones sólo para dormir. No había señoras que preparaban el té ni camareros; éste era organizado y servido por los becarios, en compensación por el hecho de que ganaban más dinero y tenían menos obligaciones. Al lado de la sala había una pequeña cocina con un fogón eléctrico y —maravilla de maravillas — un lavavajillas. Aquí se guardaban gran cantidad de *cookies* [9*] (término extranjero para Turing) que se pedían en grandes cantidades a la National Biscuit Company, que muy pronto pasaría a llamarse Nabisco. Durante la Gran Depresión sobre todo, hubo que establecer un sistema de cuotas en relación con el número de galletas servidas, a fin de desalentar a los hambrientos estudiantes de dar buena cuenta de ellas.

Cosa poco sorprendente, eran pocos los profesores que empleaban la estancia reservada exclusivamente para ellos. La sala de reunión era mucho más divertida. Siempre se jugaba a diversos juegos: el *go*, el ajedrez y el kriegspiel (variedad del ajedrez a ciegas) así como otros inventados allí mismo, como la «psicología», juego de naipes al que era inmensamente aficionado el amigo de Turing, Shaun Wylie. Éste, que procedía de Oxford (su padre había sido profesor especializado en los «grandes» de la literatura), estaba acabando el último de sus tres años en Princeton justo cuando Turing daba comienzo al primero de lo que resultarían ser dos años.

De forma bastante veloz, Wylie le introdujo en su círculo de amigos estudiantes ingleses y estadounidenses, entre los cuales estaban Francis Price, Will Jones y Bobby Burrell. El grupo organizaba búsquedas de tesoros, lecturas de obras de teatro, incluso un equipo de *hockey* que disputaba partidos contra las chicas de Miss Fine's School y Vassar (Miss Fine era la hermana del vicerrector Fine, en cuyo honor fue bautizado Fine Hall). Pero Turing, aunque se le tenía afecto y se le consideraba «miembro honorario de la camarilla»[37], se mantuvo un tanto distante. «Creo que le alegraba participar», le diría más tarde Wylie a Frederick Nebeker, «pero indudablemente no era, en esa etapa, un líder».

A fin de cuentas, Princeton resultó más bien desconcertante para un joven inglés de clase media como Turing. Le asombraba, por ejemplo, que ninguno de los estudiantes con los que colaboraba tuviese problemas en «hablar de su trabajo. En ese sentido era muy distinto de Cambridge»[38]. Los hábitos lingüísticos norteamericanos también le desconcertaban:

> Estos americanos tienen varias peculiaridades discursivas que captan un tanto la atención. Siempre que uno les da las gracias por algo, dicen «*You're welcome*»[10*]. Al principio me gustó, pensando que efectivamente era bienvenido, pero ahora veo que es como el rebote de una pelota contra una pared, y me produce auténtica aprensión. Otra costumbre que tienen es la de hacer ese sonido que los escritores describen como «Ajá». Lo emplean cuando no tienen respuesta, pero piensan que guardar silencio sería de mala educación.

La facilidad y fluidez de las relaciones sociales norteamericanas resultaban particularmente desconcertantes para un joven criado en una sociedad definida por las diferencias de clase, la reticencia al contacto físico y unas rígidas nociones de decoro. «Pese a estar preparado para el encuentro con una democracia plenamente floreciente»[39], escribió la señora Turing, «las confianzas que se tomaban los empleados le sorprendieron [a Turing]»; citó como caso extremo al conductor de la furgoneta de la lavandería que,

mientras explicaba lo que haría en respuesta a una pregunta de Alan, le puso el brazo en el hombro. «En Inglaterra habría sido sencillamente increíble». Por supuesto, al leer entre líneas, uno puede preguntarse si tras la consternación de Turing ante las «confianzas» del conductor de la furgoneta residía una inquietud más profunda: la sorpresa ante una actitud erótica franca, la inseguridad de cómo responder ante ella, e incluso la desilusión retrospectiva ante una oportunidad perdida.

Las pocas noticias que recibía de la Madre Inglaterra le llegaban a través de la prensa norteamericana. «Te envío unos recortes acerca de la señora Simpson —le escribió a su madre el 22 de noviembre— como ejemplo representativo de lo que aquí se nos cuenta acerca de ese tema. Supongo que jamás habrás oído hablar de ella, pero aquí ha habido días en que era "noticia de primera página"»[40]. Poco más de una semana después, se quejaba de lo horrorizado que estaba ante la forma en que la gente trataba de inmiscuirse en la boda del rey. «Es posible que el rey no debiera contraer matrimonio con la señora Simpson, pero eso es asunto suyo. Por mi parte, yo no toleraría interferencia alguna por parte de los obispos y no creo que el rey tenga que aceptarlo tampoco»[41].

Unas palabras un poco subidas de tono, sobre todo para una madre. No obstante, Turing tenía motivos para identificarse con la difícil situación de Eduardo VIII; sus propias historias amorosas, al fin y al cabo, también eran de un género proclive a provocar la desaprobación de los obispos. Le indignaba la hipocresía de la iglesia anglicana, al igual que el esfuerzo de la prensa británica por acallar la historia. «Tengo la impresión de que el gobierno quería librarse de él y que halló en la señora Simpson una buena oportunidad»[42], escribió. Estaba claro que la idea de que las instituciones políticas utilizasen la vida privada de un hombre contra él era algo que ni escandalizaba ni sorprendía particularmente a Turing, aunque le inquietaba, al igual que lo que denominaba la «vergonzosa» conducta del arzobispo de Canterbury: «Aguardó a que Eduardo estuviese indefenso y entonces descargó sobre él un montón de injurias que no venían a cuento. No lo hizo mientras Eduardo era rey. Además, no tuvo nada que objetar a que la señora Simpson fuera su amante, pero de casarse con ella ni hablar».

Era exactamente la clase de hipocresía sexual entre la que se había criado Turing, en colegios en los que la conducta homosexual era tolerada mientras no se mencionase o no se convirtiera en seña de identidad. ¡Y con qué rapidez se convertía la tolerancia silenciosa en represión brutal cuando los amantes decidían hacer pública su relación! La política de «Ni preguntar ni decir nada» del arzobispo irritaba a Turing no sólo en lo tocante al rey y la señora Simpson, sino a cuenta de las repercusiones que encerraba para su propio futuro. En efecto, en fecha tan tardía como mayo de 1939, aún se inquietaba por la abdicación, haciéndole notar a su madre que «se alegraba de que la familia real se resistiera a los intentos del gabinete de guardar silencio acerca del matrimonio de Eduardo VIII»[43].

En Princeton, mientras tanto, había fiestas a las que acudir: de esas en las que la suerte de la señora Simpson bien podía ser un tema de conversación. Pese a que los matemáticos no suelan tener reputación de ser demasiado juerguistas, la gente de Fine Hall era célebre por su sociabilidad. En particular, el jovial y seductor John von Neumann y su segunda esposa, Klara, celebraban en su casa grandes fiestas a las que a menudo eran invitados los alumnos de doctorado. Hermann Weyl y su esposa, Helia, celebraban reuniones en las que se servía café turco. En contraste, las esporádicas cenas que Church celebraba con su mujer, Mary, eran veladas más bien aburridas, al menos a juzgar por lo que Turing le contaba a su madre. «La otra noche Church me invitó a cenar»[44], le escribió aquel mes de octubre. «Teniendo en cuenta que los invitados eran todos gente de la universidad, la conversación me pareció más bien decepcionante. Por lo que yo recuerdo, no hablaron de otra cosa que de los distintos estados de los que eran oriundos».

En cuanto a Church, si se fijó lo más mínimo en Turing, más tarde lo olvidó. Muchos años más tarde, William Aspray le pidió que nombrase a los alumnos de doctorado con los que trabajó durante los años treinta. Una vez más, la respuesta llama la atención por el único nombre que omite: el de Turing. Cuando Aspray se lo recordó, Church continuó así: «Sí, me olvidé de él cuando hablaba de mis propios alumnos de doctorado. Lo cierto es que él no era verdaderamente alumno mío. Llegó a Princeton ya como estudiante de doctorado y escribió aquí su tesis»[45]. Cuando

se le pidió que describiera la personalidad de Turing, Church dijo: «No tuve suficiente contacto con él como para opinar. Tenía la reputación de ser solitario y más bien raro». Lo mismo, claro está, se había dicho en numerosas ocasiones del propio Church.

4

«Números computables» fue publicado en los *Proceedings of the London Mathematical Society* en enero de 1937. Para gran desilusión de Turing, su impacto no fue nada abrumador. «He recibido dos cartas solicitando copias» [46], le escribió a su madre, una de ellas de su viejo amigo de Cambridge R. B. Braithwaite y

> la otra de un *proffessor* [sic] de Alemania… Parecen muy interesados por el artículo. Creo que posiblemente esté causando cierta impresión. Me decepcionó la acogida que se le dispensó aquí. Esperaba que Weyl, que había trabajado hace unos años en un campo bastante relacionado con el mío, hubiese hecho al menos algunos comentarios al respecto.

Pero Weyl, cuyo monográfico de 1918 *Das Kontinuum* había marcado un hito en el análisis clásico, no había dicho nada. Tampoco, al parecer, lo hizo el brillante y cosmopolita John von Neumann, que, al igual que Weyl, era un antiguo discípulo del programa de Hilbert. Von Neumann estuvo presente durante la alocución de 1930 en Königsberg, en la que Gödel anunció su teorema de la incompletitud, y tras la charla abordó a Gödel para pedirle detalles; de acuerdo con Solomon Feferman, fue «uno de los primeros en apreciar el significado de los resultados de Gödel sobre la incompletitud. De hecho, se dice que obtuvo el segundo teorema de la incompletitud independientemente de Gödel, en cuanto tuvo conocimiento del primer teorema de la incompletitud de éste».

Von Neumann era célebre no sólo por sus pasmosas aptitudes

para las matemáticas sino también por la universalidad de sus intereses —en una disciplina notoria por su compartimentación, él sabía de todo— y cuando se publicaron los hallazgos de Gödel, abandonó la lógica por completo a favor de otros campos, llegando en una ocasión hasta el punto de proclamar que jamás volvió a leer otro artículo sobre el tema después de 1931. La mayoría de sus colegas dudaban de que eso fuera cierto; en cualquier caso, su aparente alergia a la lógica puede haber estado detrás de su negativa a reaccionar, ya fuera de forma positiva o negativa, ante «Números computables».

Ironías de la vida, parte del problema residía en que en 1937 Princeton fuera un centro tan importante para las matemáticas y la física. Cada vez más, el Institute for Advanced Study se convertía en parada obligada de los científicos europeos obligados a huir de sus países natales ante el avance del nazismo. De resultas, el prestigio del grupo aumentó en proporción directa con la sangría de exiliados universitarios procedentes de centros neurálgicos de la talla de Göttingen. Rara vez habían estado congregadas bajo un mismo techo tantas mentes ilustres. Como le explicó Joseph Daly a Aspray: «Tenían ustedes a Von Neumann, a Einstein, a Veblen; tenían a Knebelman y a T. Y. Thomas y Al Tucker. Estaban ocurriendo muchas cosas a la vez, y para los estudiantes de doctorado el verdadero problema era evitar que los desviasen a dieciséis campos distintos y que acabasen por no hacer nada» **[47]**.

Los lógicos ya estaban en minoría, estado de cosas que la ausencia de Gödel y la marcha de Von Neumann no hizo más que empeorar. Tampoco parecía algo tan importante resolver el *Entscheidungsproblem* cuando Albert Einstein estaba unos metros más allá, en el mismo pasillo. Para que se fijasen en uno en Princeton, tenía que haber hecho algo, pero además también tenía que saber promocionarse, y en aquel ruedo Turing —tímido de por sí— era mucho menos hábil que su amigo Maurice Pryce, acerca del cual le había escrito a su madre: «Maurice es mucho más consciente de lo que hay que hacer para favorecer su carrera. Hace grandes esfuerzos sociales con los peces gordos de las matemáticas» **[48]**. Que Turing viniera detrás de Church, que era profesor de Princeton, no hacía más que ponerle las cosas más difíciles, a lo que había que añadir lo complicado de leer que era su artículo. Como había

señalado Newman, su aislamiento, pese a aportar frescura a su pensamiento, también hacía impenetrable su prosa. En resumidas cuentas, llevaba tiempo escarbar con suficiente profundidad en «Números computables» para reconocer la asombrosa originalidad que encerraba su meollo, y pocos de sus colegas tenían la paciencia necesaria.

Y el artículo era realmente novedoso. Cuando se interpretaron en público por primera vez, las composiciones de Chopin dejaron perplejos y hasta escandalizados a sus oyentes. Las pinturas de Monet horrorizaron a los parisinos de su época. «Números computables» no provocó reacciones tan extremas, pero estaba adelantado a su época, y en cierto sentido el silencio con el que fue acogido reflejaba la incapacidad de la época en la que trabajaba Turing para percatarse de las ramificaciones de su obra. En 1936, al fin y al cabo, la analogía fabril de Post era un lenguaje simbólico mucho más reconocible que la máquina a de Turing. En cuanto a Church, pese a que su cálculo lambda estaba dotado de una cierta elegancia, así como de la virtud de la reserva, en modo alguno daba prueba de la audacia y el vigor imaginativos que hizo tan persuasiva y memorable la formulación de Turing.

Por su parte, Church se mostró más que generoso hacia su alumno putativo. Al reseñar «Números computables» en el *Journal of Symbolic Logic*, escribió:

> En realidad, se constata en el trabajo la equivalencia de tres nociones diferentes: la computabilidad de una máquina de Turing, la recursividad general en el sentido de Herbrand-Gödel-Kleene y la λ-definibilidad en el sentido de Kleene y del que esto reseña. De ellas, la primera posee la ventaja de mostrar directamente su identificación con la efectividad en el sentido corriente (no explícitamente definido), es decir, sin necesidad de demostrar teoremas preliminares. La segunda y la tercera poseen la ventaja de ser fácilmente traducibles a un sistema de lógica simbólica. **[49]**

Cabe notar que la reseña de Church supuso el primer empleo del término «máquina de Turing», lo que indica que ya en aquel

momento la máquina, por encima y más allá del problema para cuya solución había sido inventada, empezaba a cobrar vida propia. Resultaba atractivo imaginar una máquina semejante, desplazando incansablemente la cinta de un lado a otro de sus mandíbulas. Por decirlo de forma teatral, la máquina comenzaba a llevarse todos los aplausos destinados a los demás personajes; los de Hilbert, los de Church y hasta los de su propio inventor.

Entretanto, Turing trabajaba bajo la dirección de Church en un artículo que tenía la intención de exponer con claridad la equivalencia entre la computabilidad de Turing y la λ-definibilidad. Fue publicado en el otoño de 1937 en el *Journal of Symbolic Logic*. En el círculo de aquellos a quienes les importaban estas cosas, se debatió qué sistema, a largo plazo, demostraría ser el más útil. Kleene consideraba que «era más fácil trabajar con funciones recursivas generales que con las complicadas tablas de la máquina de Turing»[50], en tanto que Post criticó algunos detalles del artículo de Turing. Ninguno de sus colegas llegó tan lejos como para negar la importancia de su artículo. Y, sin embargo, tampoco ninguno de ellos mostró demasiado entusiasmo.

Estaba claro que, al menos de momento —y por lo menos en Princeton—, la máquina de Turing iba a quedar relegada a un segundo plano frente a los otros enfoques. Es posible que el reino fuera minúsculo, pero lo regía Church, y Turing era lo bastante sensato como para no plantearse la posibilidad del regicidio. En lugar de eso, trabajó incansablemente en su tesis de doctorado, dirigida por Church, y escribió dos artículos sobre la teoría de grupos, uno de ellos en respuesta a un problema que les hizo llegar Von Neumann (al parecer, Von Neumann estaba perfectamente dispuesto a alentar a Turing siempre y cuando el trabajo en cuestión no guardara relación alguna con la lógica). También dio un seminario sobre computabilidad ante el Mathematics Club, aunque la asistencia fue escasa. «Si uno desea ser escuchado, ha de tener una reputación»[51], le escribió a su madre. «A la semana siguiente de mi presentación, vino a dar un seminario G. D. Birkhoff[11*]. Tiene muy buena reputación y la sala estaba abarrotada. Pero su conferencia no estuvo en absoluto a la altura. Es más, después todo el mundo acabó riéndose de ella». Al parecer, Turing estaba aprendiendo con rapidez una dolorosa lección: con excesiva

frecuencia, la reputación se impone sobre el talento. Lo que aún estaba por ver era si iba a adquirir las habilidades sociales ya practicadas por su amigo Maurice Pryce.

5

Dejando a un lado su torpeza para las relaciones, las cualidades de Turing no pasaron inadvertidas en Princeton. En particular, fue alentado por Luther Eisenhart, director del departamento de matemáticas y de su esposa, Katherine. Como le escribió a su madre en febrero de 1937:

> Ayer acudí al habitual té dominical de los Eisenhart y por turno ambos trataron de persuadirme para que me quedase un año más. La señora Eisenhart adelantó por lo general razones semimorales o semisociológicas por las que sería buena cosa pasar aquí un segundo año. El director aportó su contribución dando a entender que la Beca Procter sería mía en cuanto la solicitase (la cuantía es de dos mil dólares anuales). Yo dije que King's probablemente preferiría que regresase, pero hice alguna vaga promesa de sondearles al respecto. **[52]**

En efecto, Turing sondeó al King's al respecto, pero en vano. Finalmente, el *college* no le ofreció un puesto (sin embargo, Maurice Pryce sí obtuvo uno) y al final —bastante a regañadientes, ya que empezaba a echar de menos su país— Turing aceptó quedarse un año más. Von Neumann le escribió una carta de recomendación para el Procter —es de notar que subrayó la labor de Turing en lo relativo a las funciones casi periódicas y los grupos continuos, pero sin decir una palabra acerca de «Números computables»— y de esta forma consiguió la beca. Como le escribió Turing a su madre, ahora iba a ser «un hombre rico» **[53]**. No

obstante, decidió regresar a Inglaterra al menos a pasar el verano, y el 23 de junio —el día de su veinticinco cumpleaños— zarpó de Nueva York.

De vuelta en Cambridge, Turing se mantuvo ocupado corrigiendo algunos errores de «Números computables»; trabajó en su tesis doctoral y completó el artículo que estaba escribiendo bajo la dirección de Church, en el que establecía la equivalencia de su propia noción de computabilidad, la λ-definibilidad y el concepto de Gödel (recogido por Kleene) de la «recursividad general». Quizá la labor más interesante que emprendió, sin embargo, tenía que ver con un problema matemático completamente ajeno al ambiente enrarecido de la lógica. Se trataba de la hipótesis de Riemann, que en aquel momento era un asunto de apremiante inquietud entre los teóricos de los números. En el momento en que se escribe esto, la hipótesis Riemann sigue sin resolver; más aún, está considerado como el problema irresuelto más importante de las matemáticas.

La hipótesis de Riemann se refiere a la distribución de los números primos. Gracias a Euclides, ahora sabemos que existen infinitos números primos. No obstante, ¿existe alguna regularidad en la secuencia de números primos? De entrada, la distribución parece arbitraria:

1, **2**, **3**, 4, **5**, 6, **7**, 8, 9, 10, **11** 12, **13**, 14, 15, 16, **17**,
18, **19**, 20, 21, 22, **23**, 24, 25

Además, a medida que se avanza, parece haber cada vez menos números primos:

En realidad, no obstante, *sí* existe algún tipo de regularidad en la lista de los números primos, como Karl Gauss (1777-1855) descubrió en torno a 1793, cuando tenía quince años. Gauss reconoció la existencia de una correlación entre la distribución de los números primos hasta llegar a un cierto número n y el logaritmo natural de ese número. De esta forma pudo llegar al *teorema de los números primos*, una fórmula para determinar el *número* de primos que existen antes de un cierto número, o algo que se le aproxima: inevitablemente, la fórmula sobreestimaba en un grado muy pequeño el número de primos. El siguiente paso tenía que ser encontrar una manera de eliminar el «término de error» en el

teorema de los números primos, es decir, hallar una fórmula por medio de la cual pudiera calcularse el número exacto de primos hasta llegar a algún *n* inconcebiblemente inmenso.

Aquí es donde intervino el matemático alemán Bernhard Riemann (1826-1866). Riemann estaba trabajando con la denominada función zeta, denotada por la letra griega ζ y calculada de acuerdo con la fórmula

$$\zeta(x) = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3^x} + \cdots + \frac{1}{n^x} + \cdots}$$

Al introducir números complejos[12*] en la función zeta, Riemann descubrió que podía eliminar el término de error del teorema de los números primos. Mediante algunas operaciones matemáticas bastante difíciles, fue capaz de establecer la hipótesis de que siempre que la función zeta adoptase el valor 0 al introducírsele un x complejo, la parte real del complejo *x* sería

$$\frac{1}{2}$$

. Esto significaba que en un gráfico de la función, todos los ceros estarían situados sobre la *línea crítica* de

$$\frac{1}{2}$$

. El complicado vínculo matemático entre los ceros de la función zeta y los números primos significaba que si su hipótesis era cierta, podía eliminarse el término de error en el teorema de los números

primos.

Pero ¿era cierta la hipótesis de Riemann? ¿Podía demostrarse? Refutarla sería fácil, era una simple cuestión de hallar un solo cero fuera de la línea crítica. Por desgracia, poner a prueba los ceros de la hipótesis Riemann suponía todo un desafío técnico que requería el recurso a unas matemáticas altamente complejas. Una fórmula desarrollada por G. H. Hardy y J. E. Littlewood, por ejemplo, les permitió confirmar hacia finales de la década de 1920 que los primeros 138 ceros se encontraban situados a lo largo de la línea crítica, pero más allá de esa cifra ya no era viable para el cálculo de los ceros. Igualmente, un proyecto emprendido en 1935 por el matemático de Oxford E. C. «Ted» Titchmarch (1899-1963) para trazar el mapa de los ceros utilizando máquinas de perforar fichas diseñadas para el cálculo de los movimientos celestiales, sólo consiguió mostrar que los primeros 1.041 ceros se hallaban dispuestos a lo largo de la línea crítica. Un solo contraejemplo habría bastado para refutar la hipótesis. La demostración, por otra parte, habría tenido que ser teórica, eliminando por completo la posibilidad de que hubiera un solo cero fuera de la línea hasta llegar al infinito. (Por supuesto, una tercera posibilidad era que la hipótesis resultase ser cierta, pero indemostrable en el sentido Gödeliano; hasta ese momento, no obstante, tampoco nadie había sido capaz de demostrar su indemostrabilidad). El hecho de que se rumorease que el propio Riemann había desarrollado una demostración de la hipótesis —quemada tras su muerte, junto con otros papeles importantes, por una gobernanta demasiado diligente— no hacía sino aumentar la sensación de urgencia y frustración que rodeaba el problema. Las opiniones sobre la validez de la hipótesis variaban tremendamente; incluso la opinión de Hardy, que dedicó gran parte de su trayectoria a lidiar con ella, fluctuó en diversos momentos a lo largo de su carrera. Por lo visto en 1937, el año en que vivió en Princeton, era pesimista respecto a la veracidad de la hipótesis, pesimismo que bien pudiera haberle contagiado a Turing. **[54]**

Aquel verano, el trabajo de Turing se centró en un aspecto particularmente misterioso de la hipótesis de Riemann. Aunque la aplicación del teorema de los números primos de Gauss indicaba que éste siempre sobreestimaría el número de primos, en 1933 el

matemático de Cambridge Stanley Skewes había demostrado que en algún punto a partir de $10^{10^{10^{34}}}$ la cosa cambiaba, y la fórmula comenzaba a subestimar el número de primos. Hardy hizo la observación de que $10^{10^{10^{34}}}$ probablemente fuese el mayor número que jamás fuera a servir para algún «propósito claro» en matemáticas, y trató de indicar la enormidad del mismo señalando que

> El número de protones que hay en el universo es de unos 10^{80}. El número de posibles partidas de ajedrez es mucho mayor, quizá de $10^{10^{50}}$. Si el universo fuera el tablero de ajedrez, los protones las piezas y cualquier intercambio en la posición de dos protones una jugada, entonces el número de posibles partidas se aproximaría al número de Skewes. **[55]**

El objetivo de Turing era o bien reducir el límite establecido por Skewes o bien refutar por completo la hipótesis de Riemann. No obstante, aunque redactó una primera versión de un artículo, jamás publicó los resultados. Tras su muerte el artículo circuló, y se descubrieron cierto número de errores, todos los cuales fueron corregidos por A. M. Cohen y M. J. E. Mayhew en 1968. Empleando los métodos de Turing, pudieron reducir el límite a $1{,}65 \times 10^{10^{529.7}}$. Sin embargo, luego resultó que en 1966 R. S. Lehman había reducido el límite a $1{,}65 \times 10^{1165}$ siguiendo otro método **[56]**. Incluso después de muerto, parece que Turing estaba destinado a que le ganasen por la mano.

6

Cuando Turing regresó a Princeton en la primavera de 1937, Hardy ya no estaba; había regresado a Cambridge, donde había empezado a trabajar en sus memorias, *A Mathematician's Apology,* **[13*]** publicadas en 1940. Apariencias aparte, él y Turing jamás se

llevaron bien, ya que, en palabras de Hodges, les separaban «una generación y múltiples capas de timidez»[57]. Hardy era también un matemático mucho más ortodoxo que Turing. Su obra se mantenía por completo dentro de los confines de la matemática pura, por lo que pudo sostener en *A Mathematician's Apology*, que

> La «verdadera» matemática de los matemáticos «verdaderos», las matemáticas de Fermat y Euler, de Gauss y Abel y Riemann, es casi por completo «inútil» (y esto es tan cierto tanto tratándose de las matemáticas «aplicadas» como de las «puras»). No es posible justificar la existencia de ningún matemático profesional con el criterio de la «utilidad» de su trabajo.[58]

Hardy veía las matemáticas como algo fundamentalmente inocente, neutral incluso —una especie de Suiza de las ciencias— y eso significaba que en fecha tan tardía como 1940 seguía «consolándose» con la convicción de que «nadie ha descubierto aún ninguna finalidad belicosa a la que pueda servir la teoría numérica o de la relatividad, y parece muy poco probable que nadie lo haga durante muchos años»[59]. En tanto que matemático puro, quería declarar su fe en que su disciplina permanecería para siempre «limpia y dócil»[60], incluso en el momento en que en Alemania, el Tercer Reich adaptaba una máquina de encriptar del tamaño de una máquina de escribir, denominada Enigma —que llevaba en producción desde 1913— para usos militares, y que en EE. UU., la teoría de la relatividad estaba aplicándose a la producción de una bomba atómica. La simple construcción de un código aparentemente indescifrable y de una máquina que lo transmitiese serían las primeras tareas para las cuales los matemáticos se vieron reclutados por el esfuerzo bélico; lejos de permitírseles continuar con su ciencia «limpia y dócil», ahora tendrían que poner sus conocimientos a disposición de las maquinarias militares rivales, una de ellas empeñada en dominar el mundo y la otra en impedirlo. En efecto, la afirmación de Hardy iba tan absolutamente desencaminada que uno no puede dejar de preguntarse qué porcentaje de lo que escribió no eran más que sus piadosos deseos.

Pues pronto el destino de Europa descansaría, en gran medida, sobre los hombros de un reducido grupo de científicos, cuyas decisiones salvarían vidas y se las cobrarían. Uno de ellos habría de ser Alan Turing.

Durante la mayor parte de sus veinticinco años de vida, había intentado reconciliar su pasión por la lógica matemática con el impulso de fabricar cosas. Debido a su condición homosexual, estaba acostumbrado a llevar una doble vida; ahora el ingeniero metido en el armario que llevaba en su interior empezaba a clamar atención, y poco después de llegar a Princeton, le escribía a su madre:

> A menudo me has preguntado por las posibles aplicaciones de las diversas ramas de las matemáticas. Acabo de descubrir una posible aplicación de aquello en lo que estoy trabajando en estos momentos, y que responde a la pregunta: «¿Cuál es el código o clave más general posible?» y, al mismo tiempo (de un modo bastante natural) me permite construir un montón de códigos especiales e interesantes. Uno de ellos es prácticamente imposible de descodificar sin la clave y de muy fácil encriptamiento. Imagino que podría vendérselos al gobierno de Su Majestad por una suma bastante considerable, pero tengo serias dudas acerca de la moralidad de tales asuntos. ¿Tú qué opinas? **[61]**

Al margen de cuestiones morales, el proyecto intrigó a Turing tanto que, en cuanto se hubo instalado en Princeton, emprendió un plan para construir —en el taller de maquinaria del departamento de física— un multiplicador electrónico que emplease interruptores electromecánicos, relés, específicamente para fines de encriptamiento. En 1937 el uso de tales interruptores era en sí y por sí mismo un tanto novedoso; también lo era el uso de números binarios, lo que a su vez permitía el empleo de un álgebra booleana de dos valores, en la que VERDADERO y FALSO estaban representados por 0 y 1 y 0 y 1, a su vez asociados con las posiciones de encendido y apagado de los interruptores. En este sentido, Turing reproducía las investigaciones de un contemporáneo, Claude Shannon (1916-2001), cuya tesis de Máster

para el MIT en 1937, *Un análisis simbólico de los relés y circuitos de conmutadores*, sería la primera obra publicada en describir la puesta en práctica del álgebra de Boole en una máquina basada en interruptores.

Como Turing le explicó al físico Malcolm MacPhail, la idea que había detrás de la máquina de encriptar era «multiplicar el número correspondiente a un mensaje concreto por medio de un número horrendamente largo pero secreto y transmitir el resultado. ¡La longitud del número secreto había de determinarse por medio del requisito de que harían falta cien alemanes trabajando rutinariamente ocho horas al día con calculadoras durante cien años para descubrir el factor secreto!» [62]. Según MacPhail, Turing llegó a fabricar personalmente las tres o cuatro primeras fases de este proyecto. No sabía, por supuesto, que en unos pocos años estallaría la Segunda Guerra Mundial y su gobierno le enviaría a Bletchley Park, donde acometería el diseño de una máquina de descifrar mucho más sofisticada. Ya se encontraba, sin embargo, en el camino hacia lo que se convertiría en su principal preocupación de la siguiente docena de años: la aplicación de la lógica matemática a la construcción de máquinas.

Aunque en sus ratos libres su proyecto prioritario durante el curso académico 1937-1938 era su multiplicador electrónico (que jamás llegó a terminar), no había olvidado la hipótesis de Riemann. La máquina de perforar tarjetas de Titchmarsh había logrado establecer que los primeros 1.041 ceros de la función zeta se encontraban a lo largo de la línea crítica de

$$\frac{1}{2}$$

. Ahora Turing se proponía construir una máquina basada en una de Liverpool que efectuaba los cálculos necesarios para pronosticar las mareas. Recientemente había tenido noticia de un poderoso método para calcular los ceros descubierto por el propio Riemann y que el matemático Carl Ludwig Siegel (1896-1981) había redescubierto entre los papeles que la esposa de Riemann, Elise, logró rescatar de las garras de su gobernanta pirómana. Al igual que Titchmarch antes que él, Turing había observado un paralelismo entre la fórmula de Riemann y las que se aplicaban al pronóstico de las mareas, las órbitas planetarias y otros fenómenos semejantes. La

máquina de Liverpool era una computadora analógica —funcionaba a base de reproducir los movimientos de las mareas que debía calcular— y en principio, una máquina parecida para el cálculo de los ceros de la función zeta también podía encenderse y dejarse en marcha… o para siempre o hasta que diera con un cero que no estuviese situado a lo largo de la línea crítica. Pese a que Titchmarch le alentó por escrito, no parece que Turing tuviese la oportunidad de poner a prueba sus ideas, al menos, no mientras estuvo en Princeton.

Oficialmente, estaba ocupado con la tesis que escribía para Church, y que había de ser un tratado sobre un problema relativo al teorema de la incompletitud de Gödel. Siguiendo la estela del resultado de Gödel, en los círculos lógicos se estaban realizando grandes esfuerzos para encontrar modos de minimizar su impacto, de manera que interfiriese lo menos posible con la práctica de las matemáticas. Semejante proyecto, por supuesto, se encontraba totalmente dentro del ámbito de Alonzo Church, y sin duda Turing se embarcó en él a sugerencia de éste. En un principio, Church no estaba del todo convencido por el teorema de la incompletitud, y pasó varios años buscando el equivalente matemático de sus fisuras. Lo que en realidad le irritaba de Gödel, sin embargo, era que a éste, al parecer, el cálculo lambda no le merecía excesiva consideración; en efecto, en cierto momento Gödel llegó a decirle a Church que «consideraba profundamente insatisfactoria» la «propuesta [de Church] de emplear la λ-definibilidad como definición de la calculabilidad efectiva»[63]. A modo de réplica, Church propuso que si Gödel «era capaz de presentar alguna definición de calculabilidad que le pareciese incluso parcialmente satisfactoria», entonces él (Church) «trataría de demostrar que estaba incluida en el cálculo lambda». Cosa que, sin duda, podría haber hecho: lo que a Church se le escapaba era que las objeciones de Gödel al cálculo lambda eran de naturaleza filosófica, incluso estética, y que se materializaron en cuanto leyó «Números computables».

Gödel no conocía personalmente a Turing y jamás llegaría a hacerlo; en 1937 vivía en Josefstadt, el distrito de los médicos de Viena, y sólo regresaría a Princeton en el otoño de 1938, momento en el cual Turing había vuelto a Inglaterra. No obstante, pronto dejaría claro que prefería la formulación de Turing a la de

Church[14*]. El carácter directo y universal de la máquina a —el hecho de que, en palabras de Kleene, «apuntase directamente a la meta»— era algo que atraía al platónico que Gödel llevaba dentro, el cual aplaudió en 1946 a Turing por

> dar una definición absoluta de una interesante noción epistemológica, es decir, una que no dependía del formalismo elegido. En todos los demás casos previamente tratados, como la demostrabilidad o la definibilidad, uno tiene que ser capaz de definirlos sólo en relación con un lenguaje determinado, y para cada lenguaje individual está claro que la definición que se obtiene no es la que se busca.[65]

Por «definibilidad», Gödel aludía sin duda a la λ-definibilidad de Church, que él consideraba tan «insatisfactoria». Por otra parte, más adelante Gödel escribiría que «debido a la labor de A. M. Turing, ahora puede darse una definición precisa e indudablemente adecuada del concepto general de sistema formal…[66]» Como ha señalado Feferman, Gödel nunca hizo una declaración pública de la insatisfacción que le producían las tesis de Church[67]. Aun así, no dejó de insinuar sus sentimientos al respecto. A Church debió escocerle recibir un suspenso de manos de la máxima figura de su campo profesional.

Sigue siendo materia de especulación saber si la preferencia de Gödel por el enfoque de Turing fue lo que indujo a Church a guardar las distancias con su supuesto alumno. En ciertos aspectos ambos eran muy parecidos: excéntricos, solitarios y un tanto fuera de sintonía en el trato social ordinario. Mientras que Church, sin embargo, era genuinamente antisocial —más aún, casi autista en su rigidez y falta de contacto—, Turing expresaba sin pudor su sed de amistad y de amor, de contacto en el sentido de Forster, que sólo su ansiedad sexual frustraba. Era también profundamente pragmático: quería comprender cómo crecían las margaritas, inventar tintas y construir máquinas de escribir y computadoras. Church, por el contrario, vivía casi por completo en el interior de su propia cabeza. Las margaritas y las máquinas de escribir eran para él lo que las ovejas con cuernos y las ovejas blancas fueron para Boole: figurillas

del juego de la lógica. Unos años antes, Bertrand Russell había afirmado que «las matemáticas puras son ese tema en el que no sabemos de qué estamos hablando o si lo que estamos diciendo es cierto»[68]. Church suscribía la tradición formalista, e insistía en que los símbolos matemáticos fueran rigurosamente vaciados de cualquier contenido semántico que pudiera serles inherente. Semejante perspectiva perturbaba profundamente a Gödel, quien por principio insistía en «distanciarse [él mismo] de… las interpretaciones sintáctico-formales de la ciencia y las matemáticas»[69]. A la postre, no resulta más sorprendente que para Turing trabajar con Church resultase una experiencia restrictiva y en última instancia frustrante, que el hecho de que Gödel —el realista autoproclamado— se irritara ante la sistemática exclusión del «significado» semántico que, desde la perspectiva del propio Church, constituía la mayor virtud del cálculo lambda.

5
La piel tierna

1

Fue en ese momento cuando la vida intelectual de Alan Turing comenzó a apartarse del curso por el que parecía encauzada. Tras rechazar una oferta para trabajar como asistente de John von Neumann en Princeton (con un salario de 1.500 dólares anuales), en el otoño de 1938 regresó a Inglaterra, donde fue reclutado para unirse a un curso de criptografía y cifrado patrocinado por la *Government Code and Cipher School* (Escuela de Códigos y Cifrado del Gobierno) de Londres. De algún modo la noticia de su interés por los códigos y el descifrado de éstos —por no mencionar su talento para las matemáticas— había llegado a oídos del comandante Alastair Denniston, director de la escuela. Por muy lejos que se encontrara de ser un patriota furibundo, Turing no tuvo ningún reparo a la hora de prestar sus servicios al gobierno; la guerra parecía probable, y desconfiaba profundamente de Hitler. Su decisión de realizar el curso marcó el inicio de una prolongada asociación con el gobierno británico que habría de tener, en palabras de Hodges, «fatídicas» repercusiones, en la medida en que

iba a exigirle a Turing, por primera vez, hacer entrega de «una parte de su intelecto, con la promesa de guardar los secretos del gobierno»[1].

Mil novecientos treinta y ocho fue también el año del estreno británico de la versión de Disney de *Blancanieves y los siete enanitos*, película por la que curiosamente tanto Turing como Gödel desarrollaron una fijación. Turing fue a ver *Blancanieves* en compañía de su amigo David Champernowne[2]; la escena en la que la Reina Malvada sumerge la manzana en la pócima venenosa le produjo un placer especialmente intenso. *Dip the apple in the brew / Let the sleeping death seep through* («Sumerge la manzana en el brebaje/Y deja que el sueño de la muerte la ultraje»), canturrea antes de soltarle a su compinche, el cuervo, una carcajada siniestra, mientras el veneno forma una calavera sobre la superficie de la manzana. «Mira la piel», continúa la Reina.

> *A symbol of what lies within*
> *Now turn red to tempt Snow White*
> *To make her hunger for a bite.*
>
> [Un símbolo de lo que en sí encierra
> Ahora enrojece para tentar a Blancanieves
> Y hacerla ansiar dar un bocado].

La Reina le ofrece la manzana al cuervo, que se lanza a aletear, fuera de sí, tratando de huir. «No es para ti, es para Blancanieves», le explica la Reina, riéndose.

> When she breaks the tender peel,
> To taste the apple from my hand
> Her breath will still, her blood congeal,
> Then I'll be the fairest in the land!
>
> [Cuando rompa la tierna piel
> Por probar la manzana de mi mano
> Cesará su aliento, su sangre se helará
> ¡Y seré yo la más hermosa del lugar!].

La escena cautivó a Turing hasta tal punto que se aficionó a entonar

los versos de la Reina una y otra vez. Quizá lo que le resultaba atractivo fuera el erotismo morboso de la misma, por no mencionar la alusión bastante descarada al mito bíblico: esta manzana tienta a Blancanieves, al igual que aquélla tentó a Eva. Sin embargo, mientras Eva muerde la manzana por propia voluntad (pudo, al fin y al cabo, haberse resistido a los halagos de la serpiente), Blancanieves es víctima de una estratagema hábilmente preparada por la Reina, que se disfraza de bruja y recurre a una serie de tretas para persuadir a Blancanieves de que pruebe la manzana; de hecho, sólo consigue convencer por fin a su némesis diciéndole que la manzana es «mágica» y que le concederá a Blancanieves su deseo. Sólo apelando a su pasión por el Príncipe puede vencer la Reina su resistencia y persuadirla para que rompa «la piel tierna», perdiendo con ello su virginidad psíquica y quedando abocada a un «sueño de la muerte». Qué aspecto en particular del tenso entramado psicosexual de la película encontraba tan subyugador Turing, sin embargo, es algo que éste nunca aclaró.

Durante las vacaciones de Navidad Turing asistió a otro curso de formación patrocinado por la *Government Code and Cipher School* [3], pasado el cual siguió visitando la escuela cada dos o tres semanas para contribuir al trabajo que se realizaba allí. No había olvidado, sin embargo, su proyecto de Princeton: el de crear una máquina que calculara los ceros de la función zeta de Riemann, y desde Cambridge solicitó una beca de la Royal Society para financiar su fabricación, facilitando los nombres de Hardy y Titchmarsh como referencias. En la instancia de solicitud, escribió

> El aparato sería de escasa utilidad permanente. Podría ser ampliado con el propósito de realizar cálculos similares para un *t* mayor y podría utilizarse en algunas otras investigaciones relacionadas con la función zeta. No se me ocurre aplicación alguna que no tenga relación con la función zeta. [4]

El hincapié que hizo Turing en la falta de «utilidad permanente» de la máquina subrayaba lo lejos que estaba de la máquina universal. Aquella máquina, después de todo, era capaz de ejecutar cualquier algoritmo que se le presentara, mientras que la máquina que Turing

solicitaba dinero para construir tenía un propósito tan concreto que desafiaba todo esfuerzo de pensar en otros usos posibles que pudiera tener. La solicitud de Turing, de hecho, era tan desganada que uno se pregunta si lo que pretendía era que su propuesta fuese rechazada. Para bien o para mal, sin embargo, la Royal Society le concedió cuarenta libras, y se puso con afán a la tarea de construir aquel aparato, por medio del cual esperaba demostrar de una vez por todas la falsedad de la hipótesis de Riemann.

Su plan inicial era imitar el diseño de la máquina de Liverpool[5], que empleaba un sistema de hilos y poleas para simular las ondulaciones sinusoidales periódicas correspondientes a los movimientos de las mareas y luego sumar sus valores; se podía obtener un resultado midiendo las longitudes de hilo a medida que se enroscaban en las poleas. Sin embargo, tras consultar con Donald MacPhail, estudiante de ingeniería mecánica en Cambridge y hermano de Malcolm MacPhail, amigo de Turing en Princeton, Turing cambió de idea y decidió que en lugar de usar hilos y poleas, reproduciría los movimientos circulares de la función zeta por medio de ruedas dentadas que engranaran. Como la máquina de Liverpool, ésta sería una máquina analógica, una máquina que reproduciría movimientos a fin de medirlos. Por contra, las máquinas digitales (de las que las primeras computadoras son un ejemplo) funcionan manipulando símbolos y, por tanto, pueden destinarse a usos mucho más generalizados. El hecho de que la máquina ideada por Turing fuera analógica limitaba por definición sus posibles aplicaciones.

El dinero estaba ahí, sin embargo, así que MacPhail esbozó un proyecto (que se conserva en el archivo Turing del King's College) y durante un tiempo hubo ruedas dentadas de precisión esparcidas por todo el suelo de los aposentos de Turing a la espera de ser incorporadas a la máquina[6]. Pero el proyecto estaba destinado, una vez más, a permanecer inacabado. Fue por culpa de la guerra. De hecho, no fue hasta 1950 que Alan Turing pudo por fin usar una máquina para verificar los ceros de la función zeta de Riemann, y ésa sería una máquina digital.

2

En el semestre de primavera de 1939 en Cambridge, Turing estuvo ocupado con dos cursos, ambos titulados «Los fundamentos de la matemática»[7]. El primero de ellos, una investigación sobre la historia de la lógica matemática, lo impartía el propio Turing. Contaba con catorce alumnos, pero Turing le dijo a su madre que sospechaba que la asistencia iría decayendo a medida que avanzara el curso. El segundo, una investigación sobre las bases filosóficas de las matemáticas, lo impartía el filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein. Entre los participantes había, además de Turing, varias personas de nombre llamativo: R. G. Bosanquet, Yorick Smythies, Rush Rhees, Marya Lutman-Kokoszynska y John Wisdom. Tomaron notas Bosanquet, Rhees, Smythies y Norman Malcolm, un estudiante norteamericano licenciado en filosofía que más adelante escribiría una excelente biografía del filósofo.

Wittgenstein era un personaje excéntrico. Vástago de una familia adinerada, además de intelectualmente dotada (su padre era ingeniero y venía a ser un titán de la industria del hierro y el acero en Austria), contaba a Russell y Frege entre sus mentores intelectuales y tenía una estrecha amistad con Keynes y Hardy. Como se había educado en el Trinity College de Cambridge, hablaba un inglés impecable, y en 1937 ocupó la cátedra de filosofía de Cambridge de la que antes había sido titular G. E. Moore. Había heredado una fortuna al morir su padre en 1912, pero había donado la mayor parte de su dinero, principalmente en forma de un gran donativo anónimo para la promoción de la literatura. También fue una especie de benefactor del poeta Rainer Maria Rilke.

Al igual que Turing, Wittgenstein era un «solitario empedernido», y se retiraba con frecuencia a una casa de labranza en la Noruega rural donde podía recluirse a escribir y pensar. Su deseo de rechazar los valores con los que había sido criado le llevaron a trabajar, durante un tiempo, como maestro de escuela. Durante la Primera Guerra Mundial se alistó como voluntario en el ejército austríaco y acabó siendo capturado por los italianos, que le tuvieron como prisionero de guerra durante cerca de un año. En aquel momento llevaba en la mochila el manuscrito de una de sus

obras fundamentales, el *Tractatus Logico-Philosophicus*. Afortunadamente pudo enviar copias a Russell y Frege, gracias sobre todo a la intervención de John Maynard Keynes.

En 1939 Wittgenstein tenía cincuenta años. Malcolm, que lo conoció por esa época, escribe que cuando por primera vez se iba a encontrar con el autor del *Tractatus Logico-Philosophicus*, esperaba que

> se tratara de un hombre mayor, pero este hombre parecía joven, quizá de unos treinta y cinco años. Su cara era delgada y morena, su perfil aguileño y de una hermosura que impresionaba, y su cabeza estaba coronada por una mata de pelo castaño y rizado. Noté la respetuosa atención que le dedicaban todos los presentes.
>
> … Su gesto era de concentración y hacía movimientos llamativos con las manos como si estuviera dando un discurso. Todos los demás guardaban un silencio atento y expectante. Fui testigo de este fenómeno incontables veces posteriormente, y llegué a tomarlo por algo del todo natural. **[8]**

En marcado contraste con las clases de Alonzo Church, que nunca se apartaban del texto preparado en la biblioteca de Fine Hall, «Wittgenstein las daba sin haberlas preparado y sin notas» **[9]**. Le contó a Malcolm que «una vez había intentado dar una clase a partir de notas, pero que el resultado no le había gustado nada; los pensamientos que le salían estaban "rancios", o, como le dijo a otro amigo, las palabras parecían "cadáveres" cuando empezaba a leerlas».

Aunque hablaba «con el acento de un inglés con formación universitaria», su forma de vestir era asombrosamente informal, dada la época y el lugar. «Siempre llevaba pantalones de franela gris claro, una camisa de franela abierta a la altura del cuello, un chaquetón de lana o una chaqueta de cuero… Uno no se podía imaginar a Wittgenstein llevando traje, con corbata o sombrero» **[10]**.

El estilo de Wittgenstein al dar clase a sus alumnos era muy

poco convencional. Por una parte, el curso era largo, de treinta y una horas divididas en dos sesiones a la semana a lo largo de dos cursos lectivos. Por lo general, los encuentros tenían lugar en sus propios aposentos de Whewell's Court, Trinity College, y los estudiantes se sentaban en el suelo o se traían las sillas. Las habitaciones

> tenían un aspecto austero. No había ni un sillón ni una lámpara para leer. No había adornos, cuadros ni fotografías. Las paredes estaban desnudas. En el salón había dos sillas de lona y una silla de madera sencilla, y en el dormitorio un catre de lona… Había una caja fuerte de metal en la que guardaba sus manuscritos, y una mesa de jugar a las cartas en la que escribía. Las habitaciones estaban siempre escrupulosamente limpias. **[11]**

Había ciertas normas relativas a la asistencia. Aunque Wittgenstein no imponía limitación alguna en cuanto a quién podía participar, los aspirantes tenían que someterse primero a una entrevista con el filósofo mientras tomaban el té, durante la cual habría largos silencios inquietantes, pues Wittgenstein detestaba la charla trivial. Los alumnos tenían que comprometerse a asistir al curso de forma continuada, no solamente a uno o dos encuentros. Estaba mal visto llegar tarde. «Hacía falta valor para entrar una vez que había empezado ya la clase» **[12]**, recuerda Malcolm, «y algunos preferían marcharse antes que enfrentarse a la dura mirada de Wittgenstein». Aunque Wittgenstein podía ser duro con sus alumnos —en una ocasión le dijo a Yorick Smythies «es como hablarle a la estufa» **[13]** — podía ser igualmente duro consigo mismo y salpicar sus clases de comentarios tales como «soy tonto», «tenéis un profesor espantoso» o «hoy tengo el día estúpido». Según Malcolm, además, «lección» apenas era el término adecuado para describir las clases, ya que consistían principalmente en intercambios entre Wittgenstein y los participantes, diálogos interrumpidos solamente por los prolongados silencios a los que los asistentes se acostumbraron pronto.

El tema del curso eran las relaciones entre la matemática y lo

que Wittgenstein llamaba el lenguaje «ordinario», y por extensión, la vida «ordinaria». Como explican John Casti y Werner de Pauli, «Wittgenstein aplicaba su propio principio de que "los límites de mi lenguaje constituyen los límites de mi mundo" a las matemáticas. En otras palabras, se entendía que los objetos de la matemática estaban limitados a aquellas entidades que se podían formular en lenguaje matemático»[14]. El enfoque quedó claro desde la primera clase, en la que —quizá porque Turing era el único matemático entre los participantes— Wittgenstein se sirvió de él como ejemplo:

> Supongamos que le digo a Turing «ésta es la letra griega sigma», señalando hacia el símbolo σ? Entonces cuando le digo «muéstrame una sigma griega en este libro», él recorta el símbolo que le he mostrado y lo pone en el libro. En realidad estas cosas no suceden, y tales malentendidos sólo se dan con una frecuencia muy rara, pero mis palabras podían haberse interpretado de ambas maneras. Esto sucede porque todos hemos sido entrenados desde la infancia para usar frases tales como «ésta es la letra tal y cual» en un cierto sentido, y no en otro.
>
> Cuando le dije a Turing «ésta es la sigma griega», ¿me malinterpretó? No, me entendió bien, pero no comprendió la aplicación.[15]

Una de las ambiciones de Wittgenstein era hacer que sus alumnos reconocieran la importancia del sentido común incluso en el contexto de la investigación filosófica. («No tratéis al sentido común como un paraguas»[51], les decía. «Cuando entréis a un lugar a filosofar, no lo dejéis fuera, traedlo adentro con vosotros»). Tampoco era ningún accidente que de todos los participantes del seminario, fuera a Turing al que escogiera una y otra vez para que sirviera de representante de lo que podría llamarse la postura logicista; Wittgenstein, en sus propias palabras, trataba siempre de «tentar»[16] a Turing para que hiciera afirmaciones que primaran la lógica por encima del sentido común (aunque no siempre con éxito). Como matemático en ejercicio, se podía contar con Turing para que reiterara los postulados tradicionales de su disciplina y al

hacerlo le diera a Wittgenstein la ocasión de sacarles la alfombra de bajo los pies. Church, o alguien como él, habría sido una víctima más propicia, y de haber conocido Wittgenstein lo poco ortodoxas que eran algunas de las ideas de Turing, quizás habría adoptado una táctica distinta. En lugar de ello, puso a Turing en el papel de llevar la contraria, como muestra este fragmento de diálogo de la sexta lección:

> *Turing* [tras serle preguntado si comprendía]: Comprendo pero no estoy de acuerdo con que sea simplemente cuestión de dar nuevos significados a las palabras.
>
> *Wittgenstein*: Turing no tiene ninguna objeción ante nada de lo que yo digo. Está de acuerdo con cada palabra. Sus objeciones se refieren a la idea que él cree que subyace a mis palabras. Él piensa que estamos minando la matemática, introduciendo el bolchevismo en la matemática. No es así en absoluto.
>
> No despreciamos a los matemáticos; sólo estamos haciendo una distinción importante, la que hay entre descubrir algo e inventar algo. Sin embargo, los matemáticos hacen descubrimientos muy importantes. **[17]**

Éste es sólo uno de los muchos ejemplos de las veces en que, durante sus clases, Wittgenstein tomaba, desmantelaba y en cierto sentido recontextualizaba los argumentos subyacentes a la matemática pura, incluido el viejo debate sobre si la matemática es invención o descubrimiento. **[1*]** Aunque lejos de ser un antirrealista o un intuicionista de la escuela de Brouwer, insistía a sus alumnos en que cuestionaran incluso los axiomas más fundamentales de la aritmética. («Decimos de una demostración que nos convence de una ley de la lógica. Pero claro, la demostración arranca de algún lugar, y la cuestión es: ¿Qué es lo que nos convence de las proposiciones primitivas en las que se basa la demostración? Aquí no hay demostración» **[18]**). En los aposentos de Wittgenstein, los supuestos más básicos eran sometidos a un análisis escrupuloso:

> ¿Qué es contar? ¿Señalar a las cosas con el dedo y decir «1, 2, 3, 4»? Pero no tengo por qué decir los números: podría señalar y decir «María tenía un corderito» o ponerme a silbar «Dios salve al rey» o cualquier otra cosa. Pero normalmente el proceso de contar se usa de una manera diferente, mientras que «María tenía…» no se usa de esta manera en absoluto. Si uno llegara de Marte no lo podría saber. **[20]**

De la misma forma, para alguien de Marte, un axioma de la matemática podría ser que «todo numeral de más de cinco cifras que se presente… se tira a la papelera y se ignora» **[21]**. O lo que viene a ser lo mismo, la cuestión era inquirir acerca de la relación entre el significado matemático de las palabras y su significado «ordinario». Y poner al descubierto las consecuencias del divorcio entre una cosa y la otra. Por ejemplo, en la tercera lección, se imaginó una fábrica de papel para empapelar paredes en el que el patrón decorativo consistiera en la demostración de que $21 \times 36 = 756$ repetida una y otra vez. «A esto le podemos llamar la demostración de que $21 \times 36 = 756$», dijo Wittgenstein a sus alumnos **[22]**,

> y pueden negarse a reconocer ninguna otra demostración. ¿Por qué a esto le llamamos demostración?
>
> Supongamos que preparo a los aprendices de fabricantes de papel para empapelar paredes para que puedan presentar demostraciones perfectas de los teoremas más complicados de las matemáticas superiores, hasta el punto en que pueda decirle a uno de ellos «demuéstrame tal y cual» (entendiendo que tal y cual es una proposición matemática) y siempre sea capaz de hacerlo. Supongamos también que son tan poco inteligentes que son incapaces de realizar los cálculos más sencillos de tipo práctico. No son capaces de calcular: si una ciruela cuesta tanto, cuánto cuestan seis ciruelas, o qué cambio deben devolverte por un chelín si compras una barra de chocolate de dos

> peniques. ¿Dirían que han aprendido matemáticas o no?
>
> Conocen todos los cálculos pero no sus aplicaciones. Lo que se podría afirmar es que «han aprendido matemática pura».

Para resumir, aunque los aprendices «emplearan las palabras "demostración", "es igual a", "más", etc., al hablar de sus diseños para empapelar, nunca estaría claro por qué las usaban». Por otra parte, «si se dijera, "el hecho de que Lewy estuviera en el lugar del crimen con una pistola en la mano demuestra su culpabilidad", ¿qué conexión hay entre esto y llamar demostración al patrón [del papel de pared]? No sabrían decir por qué se llama demostración».

Empapeladores, soldados y generales, leones blancos, puentes que se vienen abajo: Wittgenstein siempre presentaba analogías en sus clases y pedía a sus alumnos que «supusieran» una u otra cosa. Mientras que Wittgenstein era capaz de saltar con facilidad de una analogía a otra, Turing, sin embargo, tendía a agarrarse tenazmente a los ejemplos como si, en virtud de su simple repetición, hubieran adquirido para él una especie de realidad física. En las transcripciones del curso, ningún otro alumno responde a Wittgenstein con tanta frecuencia ni se muestra tan dispuesto a hacerlo como Turing, y en muchos casos sus respuestas consisten en proponer ampliaciones sobre la analogía con la que ha empezado Wittgenstein. Sobre el ejemplo de los empapeladores, por ejemplo, Turing comenta, «los significados ordinarios de palabras como "tres" se pondrán de manifiesto en alguna medida si son capaces de hacer cosas sencillas como contar el número de símbolos que hay en una línea»[23]. Del mismo modo, los ejemplos que da el propio Turing sugieren hasta qué grado le absorbía más y más la relación entre la lógica y los acontecimientos del mundo real:

> *Turing*: Uno podría hacer la siguiente comparación entre un experimento de física y un cálculo matemático: en el primer caso puedes decirle a un hombre, «Pon estas pesas en la bandeja de la balanza de tal y tal forma y observa hacia adonde se mueve el fiel», y en el otro caso dices, «toma estas cifras, mira en tales y tales tablas, etc., y mira cuál es el resultado».

Wittgenstein: Sí, las dos cosas sí que parecen muy similares. ¿Pero en qué consiste la similitud?

Turing: En ambos casos lo que uno quiere es ver lo que pasa al final.

Wittgenstein: ¿Es eso lo que quiere uno ver? En el caso matemático, ¿quiere uno ver qué garabato de tiza hace el hombre? Aquí hay algo raro. ¿Quiere uno ver lo que obtiene si multiplica, o lo que se obtiene si multiplica correctamente, es decir el resultado correcto?

Turing: Nunca se puede estar seguro de no haber cometido un error. **[24]**

Era tan típico de Wittgenstein aprovecharse del garabato de tiza como lo era de Turing hacer hincapié en la correlación entre cifras buscadas en «tales y tales tablas» (quizá con una de sus máquinas) y la dirección en la que se mueve un indicador mecánico. Lo raro era que, por muchos encontronazos que tuvieran, ambos eran pragmáticos en lo fundamental de un modo que Alonzo Church no podría haberlo sido nunca. Turing podía hacer el papel de defensor de la lógica como disciplina «limpia y dócil», alejada de la fealdad de los afanes y conflictos humanos, pero su propia imaginación le estaba llevando tan lejos del idealismo de Hardy como a Wittgenstein. A la vez, no estaba dispuesto a aceptar que Wittgenstein despachara (por ejemplo) la paradoja del mentiroso, que estaba en la raíz de las investigaciones de Turing sobre el *Entscheidungsproblem*, como «un juego de palabras inútil»: «Si un hombre dice "estoy mintiendo", decimos que de ahí se sigue que no está mintiendo, de lo cual se deduce que está mintiendo y así sucesivamente. Bueno, ¿y qué? Podrías seguir así hasta que se te pusiera la cara negra. ¿Por qué no? No tiene importancia» **[25]**. Para Turing, sí tenía importancia; no en algún sentido abstracto o ideal, sino porque creía que las contradicciones ocultas podían dar como resultado el que las cosas «salieran mal». Su disputa se prolongó a lo largo del curso durante el año entero y alcanzó su culminación en una larga discusión acerca de la ley de la contradicción en la lógica y (de nuevo) en la vida «ordinaria»:

> Puedo darles a ustedes las reglas para jugar las fichas del ajedrez sin decirles que no se puede pasar de los bordes del tablero. Si se da el caso de que un hombre quiera hacer que una pieza salte del tablero, podemos decir entonces «No, eso no está permitido». Pero esto no significa que las reglas fueran falsas ni que estuvieran incompletas. Recuerden lo que se dijo sobre contar. Al igual que uno tiene la libertad de seguir contando como quiera, también puede uno interpretar las reglas de tal manera que esté permitido saltar del tablero o del tal manera que no lo esté.
>
> Pero es de importancia vital ver que una contradicción no es un germen que indique una enfermedad generalizada.
>
> *Turing*: Hay una diferencia entre el caso del ajedrez y el caso de contar. En el caso del ajedrez, el maestro no haría saltar una pieza del tablero, pero el alumno quizá sí, mientras que en el caso de contar todos estaríamos de acuerdo.
>
> *Wittgenstein*: Sí, ¿pero de dónde vendrá el daño?
>
> *Turing*: El verdadero daño no se producirá a no ser que haya una aplicación, en cuyo caso se podría caer un puente, o algo por el estilo. **[26]**

El puente salió a relucir (y se vino abajo) una y otra vez. Turing se mostraba tan categórico en cuanto a que Wittgenstein debía admitir la posibilidad de un desastre del puente causado por la aplicación defectuosa de «un sistema lógico, un sistema de cálculos» **[27]** como se mostraba Wittgenstein en cuanto a que Turing debía hacer una distinción entre el mundo de la lógica y el mundo de la ingeniería de los puentes. Por tanto, a la afirmación repetida de Turing de que «los aspectos prácticos pueden salir mal si no se detectan las contradicciones» **[28]**, Wittgenstein respondía:

> La cuestión es: ¿Por qué la gente tiene miedo a las contradicciones? Es fácil comprender que tengan miedo a las contradicciones en las órdenes, las descripciones, etc., sin relación con las matemáticas. La cuestión es:

> ¿por qué habrían de temer a las contradicciones dentro de las propias matemáticas? Turing dice «porque algo puede salir mal en la aplicación». Pero nada tiene por qué salir mal. Y si algo sale mal —si el puente se viene abajo— entonces el error ha sido del tipo que se comete por emplear una ley natural equivocada. **[29]**

Pero Turing no quería olvidarse del puente. Era como si, ahí sentado en los aposentos de Wittgenstein, estuviera viendo cómo se venía abajo y escuchara los gritos de los viandantes al caer al río. Su objeción era sencilla, y no estaba dispuesto a dejarla pasar: lo que no aceptaba Turing, en sus propias palabras, era «que el puente se cayera».

> *Wittgenstein*: ¿Pero cómo sabe que se va a caer? ¿No es eso una cuestión de física? Podría suceder que uno hiciera los cálculos para la construcción del puente a base de lanzar los dados y que nunca se cayera.
>
> *Turing*: Si uno toma el simbolismo de Frege y le da a alguien la técnica de multiplicar dentro de él, empleando una paradoja de Russell podría obtener una multiplicación errónea.
>
> *Wittgenstein*: Esto vendría a ser hacer algo que no llamaríamos multiplicar. Se le da una regla para multiplicar, y cuando llega a cierto punto puede escoger entre dos caminos, uno de los cuales conduce a error.
>
> Supongamos que convenzo a Rhees de la paradoja del mentiroso y él dice, «miento, luego no miento, luego miento y no miento, por tanto tenemos una contradicción, por tanto $2 \times 2 = 369$». Bueno, pues no deberíamos llamar a esto «multiplicación»; eso es todo.
>
> Es como si le das reglas para multiplicar que conducen a resultados diferentes, digamos, en los que $a \times b \neq b \times a$. Eso es algo bastante posible. Le ha dado esta regla. ¿Y qué entonces? ¿Hemos de decir que le has dado el cálculo equivocado?
>
> *Turing*: Aunque no se puede saber si el puente se

caerá si no hay contradicciones, es casi seguro que si las hay algo irá mal en alguna parte.

Wittgenstein: Pero nunca nada ha ido mal de esa manera hasta ahora. ¿Y por qué ha sido así? **[30]**

No parece que Wittgenstein le tuviera mala voluntad a Turing. Es más, hacía grandes esfuerzos para asegurarse de que Turing sintiera que tenía ocasión de expresar sus ideas. Sin embargo, su impaciencia era visceral, y era obvio que se veía exacerbada por la terca negativa de Turing a distinguir entre el colapso de la lógica y el de un puente:

[*A Turing*] Antes de terminar, ¿podría decir si de verdad piensa que es la contradicción la que le da problemas? ¿La contradicción lógica? ¿O ve que se trata de algo bastante diferente? No digo que una contradicción no pueda causarle problemas. Claro que puede.

Turing: Creo que con el tipo de reglas ordinarias que se usan en la lógica, si uno puede topar con contradicciones, entonces puede tener problemas.

Wittgenstein: ¿Pero supone esto que con las contradicciones tenga *necesariamente* que haber problemas?

¿O quiere decir que la contradicción puede inducir a uno a tenerlos? De hecho, no lo hace. Nadie ha tenido todavía problemas a causa de una contradicción lógica. No es como decir «seguro que a ese niño lo van a atropellar; nunca mira antes de cruzar la calle».

Si una contradicción puede causar problemas, también puede hacerlo cualquier cosa. No es más probable que los cause que el que lo haga cualquier otra cosa.

Turing: Parece estar diciendo que si uno emplea un poco de sentido común, no habrá problemas.

Wittgenstein: No, eso NO es en absoluto lo que quiero decir. El problema descrito es algo a lo que se puede llegar si se aplica el cálculo de un modo que

> conduzca a que algo se rompa. Esto se puede hacer con cualquier cálculo, tanto si hay contradicción como si no.
>
> ¿Cuál es el criterio para que una contradicción lleve a tener problemas? ¿Tiene alguna *propensión* especial a ello?
>
> No puede ser una cuestión de sentido común; a no ser que la física sea una cuestión de sentido común. Si se trata correctamente a la física, la física no le traicionará, y el puente no se vendrá abajo. **[31]**

En un momento dado del desarrollo del curso, citando a Hilbert, Wittgenstein insistió en que no era su propósito expulsar a sus alumnos «del paraíso creado por Cantor» **[32]**; más bien, era inducirles a cuestionar si de verdad merecía la pena permanecer en él:

> Lo que yo diría es «ni soñaría con tratar de expulsar a nadie de este paraíso». Trataría de hacer algo bastante diferente: Trataría de mostrarles que no es un paraíso, para que lo abandonen por su propia voluntad. Lo que yo diría es: «Tomen de aquí lo que quieran; echen un vistazo».

Turing, sin embargo, había abandonado aquel paraíso hacía tiempo, con lo cual la insistencia de Wittgenstein en que hiciera el papel de su defensor resultaba doblemente irónica: Una vez más, se veía obligado a disfrazarse de alguien que no era y llevar el manto de una tesis en cuya validez en última instancia no creía.

3

Wittgenstein era aficionado a las metáforas bélicas. «Supongamos que soy un general y recibo informes de las patrullas de

reconocimiento»[33], planteó en la clase número veintiuno. «Uno de los oficiales viene y dice "el enemigo tiene 30.000 hombres", y luego viene otro y dice "el enemigo tiene 40.000 hombres". ¿Qué sucede entonces, o qué podría suceder?».

Estaba claro que Wittgenstein tenía en mente la inminencia de la guerra.

«Supongamos que soy general y que doy órdenes a dos personas»[34], propuso en la clase siguiente.

> Supongamos que le digo a Rhees que esté en Trumpington a las tres y en Grantchester a las tres y media, y que le digo a Turing que esté en Grantchester a las tres y que esté en Grantchester a la vez que Rhees. Luego los dos comparan sus órdenes y se dan cuenta de que eso resulta imposible: «No podemos estar allí a la vez». Pueden afirmar que el general les ha dado órdenes contradictorias.

Turing nunca recibió órdenes de acudir a Grantchester. En lugar de eso, el 4 de septiembre de 1939 se presentó en Bletchley Park, una mole señorial en Buckinghamshire situada a unos ochenta kilómetros al noroeste de Londres. Bletchley Park —o B.P., como llegó a ser conocido— había comenzado su andadura allá por la época de la batalla de Hastings, y era una casa rural de ladrillo rojo más bien modesta hasta que sir Herbert Leon, un financiero londinense, adquirió la propiedad en 1883. Como quería una mansión de una grandeza a juego con su fortuna, sir Herbert realizó numerosas ampliaciones de la casa, entre ellas un almacén congelador, un vestíbulo, una biblioteca y una sala de baile. Con menos juicio, añadió una fachada en piedra y ladrillo en lo que el historiador Stephen Budiansky denominó «una especie de falso estilo Tudor Victoriano»[35] repleta de «arcos, pilares, aguilones, cúpulas y parapetos… El interior estaba igualmente recargado con una combinación inquietante de roble tallado y felpa roja». Bletchley Park era tan espantoso que en un ensayo titulado «La Arquitectura y el Arquitecto», David Russo lo cita como ejemplo de lo que no hay que hacer cuando se diseña una casa, constatando que «incluso un ojo poco avezado puede apreciar que la estructura

consiste en una serie de formas dispares, como si no hubiera sido construido como un todo, sino más bien por partes que luego fueron yuxtapuestas al azar… El edificio resultante… parece en parte castillo, en parte cenador indio con torreta recubierto de una serie de estilos que van desde las portadas románicas a los pedimentos neo-normandos» **[2*] [36]** .

No era la integridad arquitectónica, sin embargo, lo que preocupaba al almirante Quex Sinclair (más conocido como «C») cuando compró la casa para que sirviera como base para la actividad continua de la *General Code and Cipher School* durante la Segunda Guerra Mundial. Lo que le atrajo de la propiedad fue lo espaciosa que era, lo cerca que estaba de Londres y su ubicación, exactamente a medio camino entre Oxford y Cambridge sobre la vía férrea que conectaba ambas universidades. Era ya evidente para C que en el frente del criptoanálisis, al menos, la guerra la iban a librar los intelectuales.

Turing llegó a Bletchley como parte de un equipo de científicos y matemáticos que viajaban bajo la tapadera de «la partida de caza del capitán Ridley». Entre los demás miembros del grupo había dos colegas matemáticos de Cambridge, Gordon Welchman (quien después escribiría la primera memoria de Bletchley Park) y John Jeffreys. Junto con un cuarto matemático, Peter Twinn, se les concedió un espacio en un edificio bajo próximo al edificio principal, llamado *the Cottage*, o la casa de campo, en la que se pusieron a la tarea de descifrar el código Enigma alemán. Turing probablemente se imaginó que su estancia en Bletchley duraría unos cuantos meses; lo cierto es que el Crown Inn del pueblo de Shenley Brook End, donde se alojaba y desde donde iba en bicicleta todos los días hasta Bletchley, habría de convertirse en su hogar mientras durara la guerra.

En los días de Princeton, Turing había construido un multiplicador electrónico capaz de cifrar mensajes por medio de la multiplicación de grandes números binarios entre sí. Aunque la idea era tosca, constituía un anuncio del método criptográfico —basado en la multiplicación de enormes números primos— que protege en la actualidad los números de nuestras tarjetas de crédito cuando hacemos compras por internet. No servía, sin embargo, para enfrentarse al cifrado alemán con el que ahora tenían que vérselas

Turing y sus colegas. A diferencia de las anteriores, éste se basaba en variaciones de gran complejidad sobre el cifrado más básico de todos, el llamado *cifrado monoalfabético*.

Para comprender cómo funciona un cifrado monoalfabético, xibauswe rgw xinnib que se produce cuando mantel dedo se desplaza una tecla a la izquierda sobre el teclado de una máquina de escribir. «Considere el error común» queda como «xibauswe rgw xinnib». Ahora imaginemos que uno tiene que desentrañar un pasaje largo escrito con los dedos mal alineados: el texto no parece tener sentido. Como sabemos, sin embargo, que una alineación defectuosa ha dado como resultado que cada letra del alfabeto haya sido reemplazada por otra, el sentido común nos dice que debemos buscar secuencias repetidas de tres letras que puedan representar versiones cifradas de la palabra más común en cada idioma, en inglés, el artículo *the*. Si estuviéramos contemplando un texto extenso cifrado según el método de los dedos desplazados, puede que viéramos muchos ejemplos de la secuencia «rgw». Suponiendo, entonces, que «rgw» es «*the*», reemplazamos en el texto todas las erres por T, todas las ges por haches y las uves dobles por E. Enseguida empezamos a ver cómo van tomando forma otras palabras conocidas. Es algo así como un acróstico, y es por eso que los cifrados monoalfabéticos (que se remontan a la Edad Media) son tan fáciles de descifrar. El núcleo de la cuestión reside en la probabilidad —en particular, la distribución de las letras—: como guía se emplea un conocimiento de la frecuencia estadística con la que aparecen las letras individuales en inglés o en cualquier otro idioma en el que esté escrito el texto sin cifrar (en inglés, la letra más común es la E y la menos común la Z).

A partir del principio básico de la sustitución, sin embargo, se puede desarrollar un cifrado mucho más complejo, de un tipo conocido como *cifrado polialfabético*. Buen ejemplo de ello es el cifrado Vigenère, que tiene sus orígenes en el siglo XV, pero empezó a ser utilizado con mucha mayor frecuencia a finales del XIX. En lo fundamental, el cifrado Vigenère se basa en elaborar una tabla en la que las letras de texto normal figuran en la parte superior y las letras en clave en la columna izquierda (en aras de la concisión, incluyo una tabla que llega solamente hasta la duodécima posición, L; el lector puede suponer que una tabla completa continuaría del

mismo modo hasta la Z).

Para usar este cifrado, el emisor y el receptor sólo tienen que ponerse de acuerdo en una palabra clave. Digamos que la palabra clave es DELILAH y que el mensaje que quiero codificar es «*Be at Grantchester at three*». (Esté en Grantchester a las tres). Entonces sustituyo cada una de las letras de mi texto normal por la letra correspondiente de la columna que dicte cada una de las letras de la palabra clave:

Mi mensaje ahora empieza diciendo EILBRRHQGSLD… Con esa palabra clave, el receptor puede descifrarlo y obtener el texto normal. Este cifrado difiere de un simple cifrado monoalfabético en que, como es obvio, cada letra va codificada empleando un alfabeto de sustitución diferente; por tanto, no se puede descifrar el mensaje buscando simplemente secuencias de letras repetidas y tratando de adivinar lo que representan.

Aun así, se puede descifrar. El truco, como con todos los cifrados, está en buscar un punto vulnerable y sacarle partido sin contemplaciones hasta que sus fortificaciones se derrumben. En cualquier cifrado polialfabético, el punto débil evidente es su dependencia de la repetición; en el ejemplo anterior, la palabra clave DELILAH tiene siete letras, lo cual significa que en un mensaje largo las letras primera, octava, decimoquinta y vigésimosegunda están codificadas siguiendo el mismo cifrado monoalfabético, y lo mismo sucede con la segunda, novena, decimosexta y vigésimotercera y con la tercera, décima, decimoséptima y vigésimocuarta, etc. En principio, luego, para tratar de descifrar el mensaje haría falta una palabra clave que no fuera larguísima; haría falta saber de cuántas letras consta y haría falta tener una porción de texto cifrado lo bastante larga como para contener varios ciclos de repetición. Entonces se dividiría el texto en unidades de igual longitud que la palabra clave y se alinearían con el fin de estudiar la frecuencia de las letras.

Por desgracia, los descifradores de códigos rara vez tienen a mano esta clase de información. Para complicar aún más las cosas, como medida adicional de seguridad, la mayoría de los que recurren a los cifrados polialfabéticos suele alterar el orden de las letras de la palabra clave siguiendo un patrón prefijado[37]; es decir, se pondrían de acuerdo para cifrar un día con HDELILA, al

siguiente con AHDELIL y al siguiente con LAHDELI. Lo que hacía falta era un salto teórico, y no sorprende que el primer matemático en reconocer la ruta de ataque más prometedora fuese nada más y nada menos que Charles Babbage, el creador de la máquina analítica. Como explica Simon Singh en *The Code Book*,[3*] la genialidad de Babbage consistió en dejar de lado el microanálisis de la frecuencia de las letras en cada secuencia de un texto cifrado y en lugar de ello tratar la secuencia como si hubiera sido generada al azar. En esencia, lo que hacía Babbage era un análisis estadístico de repeticiones de letras, un método que Solomon Kullback, desarrollando el trabajo de su mentor William Friedman, formalizaría en el artículo «Métodos Estadísticos» publicado en 1938 en *Cryptanalysis*.

Funciona de la siguiente manera:[4*] digamos que tenemos una secuencia de veinticuatro letras. Podemos dividirla en dos segmentos de doce letras cada uno y luego alinearlos. Estadísticamente, la probabilidad de que, por ejemplo, la P aparezca en la séptima posición del primer segmento de doce letras es de 1 en 26, lo mismo que la probabilidad de que la P aparezca en la séptima posición del segundo segmento. Esto supone que la probabilidades de que aparezca la P en la séptima posición de ambos segmentos es de

$$\frac{1}{26} \times \frac{1}{26}$$

, o del 0,15 por ciento. Pero la probabilidad de que cualquier letra aparezca en la misma posición en ambos segmentos es de 26 x

$$\frac{1}{26} \times \frac{1}{26}$$

, o del 3,8 por ciento. Por otra parte, si resultara que los dos segmentos han sido cifrados empleando la misma palabra clave, las dos letras en cada posición serán parte de una sustitución

monoalfabética, y la P en la séptima posición del primer segmento será la forma cifrada de la misma letra que la P de la séptima posición del segundo segmento. En cualquier trozo de texto en inglés, la E tiene una probabilidad del doce por ciento de aparecer en cualquier posición, lo cual supone que en dos segmentos alineados de texto cifrado con la misma palabra clave, la letra que haya sustituido a la E tiene una probabilidad de

$$\frac{12}{100} \times \frac{12}{100}$$

, o del 1,4 por ciento, de aparecer en la misma posición en ambos segmentos. Se puede sacar un porcentaje similar para cada una de las otras veinticinco letras del alfabeto inglés, y al hacer el promedio de esos valores, se obtiene un índice de coincidencia de más o menos un 6,7 por ciento. Es por tanto posible desplazar el alineado de los segmentos de texto cifrado unos respecto de otros y realizar un análisis de frecuencias para cada par. Si el índice salta del 3,8 por ciento al 6,7, sabrás que has dado con dos segmentos cifrados con la misma palabra clave y se puede proceder a partir de ahí, aplicando el mismo método de rompecabezas acróstico que se usaría para un cifrado monoalfabético.

A medida que se ponían de manifiesto los puntos débiles del cifrado Vigenère y de otros de su clase, los criptógrafos empezaron a buscar refinamientos para lograr que los cifrados que empleaban fueran más resistentes al criptoanálisis. Uno de los enfoques consistía en crear una palabra clave de la misma extensión que el mensaje; como observó Singh, sin embargo, tal enfoque acabó demostrando ser sólo un poco menos vulnerable que el método original, ya que el criptoanalista podía simplemente intercalar palabras comunes tales como *the* en varios lugares del texto cifrado y ver si la sustitución generaba un segmento de palabra clave que pareciera una parte posible de una palabra inglesa. Si la prueba con la palabra generaba las letras XGT, se podía suponer que no se iba por buen camino. Por otra parte, si la sustitución daba como resultado DAY, se decidiría al menos continuar con la investigación, dado que esa secuencia de letras es común en inglés.

Otro refinamiento suponía la sustitución de palabras clave por secuencias clave de letras generadas al azar, sin significado alguno en inglés (o en cualquier idioma en el que se hubiera hecho el cifrado). El resultado era un cifrado que no se podía descifrar, pero que tenía la enorme desventaja de que su uso exigía generar una gran cantidad de secuencias de letras al azar. En los años anteriores a los ordenadores, era casi imposible crear tales secuencias. Además, estaba el problema de distribuir las secuencias clave entre los operadores de la red. En principio esto se podía haber hecho por medio de la impresión de cuadernillos, en cada una de cuyas páginas figuraría una secuencia al azar diferente. Los operadores usarían la secuencia indicada para un día dado, finalizado el cual arrancarían la hoja y la tirarían. Por desgracia, la logística que implicaba tanto imprimir los cuadernillos como hacerlos llegar a todos los operadores de la red, sobre todo en tiempo de guerra, demostró ser tan engorrosa que el sistema acabó quedando prácticamente inutilizable.

El siguiente paso lógico era construir una máquina de cifrado. El primer disco de cifrado, hecho de cobre, fue fabricado en el siglo XV. En el XIX, Thomas Jefferson inventó su cilindro o «rueda de Jefferson», artilugio que consistía en discos impresos con letras en secuencias diferentes, montados sobre un eje. Un cilindro similar fue empleado por la Confederación durante la guerra civil americana. Estos artilugios, sin embargo, sólo mecanizaban el trabajo de pasar una carta por un cifrado Vigenère; el texto cifrado resultante no era más inmune a los ataques porque lo hubiera generado una máquina.

Lo que hacía falta era una máquina que no sólo acelerara los procesos de cifrado sino que además aumentara su seguridad, sometiendo las letras a un barajado extra. Este avance se produjo en la década de 1920, con la invención más o menos simultánea en los Países Bajos, Suecia, Estados Unidos, Inglaterra y Alemania de un tipo de máquina del que la versión alemana —la Enigma— se convertiría en el ejemplar de mayor éxito[5*]. La Enigma era la criatura del ingeniero alemán Arthur Scherbius, quien exhibió el aparato por primera vez en el Congreso de la Unión Postal Internacional en Berna, Suiza, con la ambición de vendérsela a hombres de negocios preocupados por que la competencia pudiera

interceptar sus telegramas. Tal como fueron las cosas, la Enigma acabó siendo más bien un fracaso entre aquellos a los que iba destinada: era demasiado cara y, con sus doce kilos de peso, demasiado pesada para que la encontraran atractiva unos empresarios alemanes a los que gustaba ir a lo práctico. Varios años más tarde, sin embargo, la máquina llamó la atención de un cliente que habría de encumbrar profesionalmente a Scherbius: el gobierno alemán, que compró un montón de aquellas máquinas y las adaptó para uso militar.

Como la de la computadora personal —del que en muchos aspectos era una precursora—, la aparente simplicidad y sencillez de uso de la Enigma escondía un mecanismo interno ingenioso y de gran complejidad. Parecía una máquina de escribir, y su manejo no era más difícil que el de éstas. Sin embargo, a diferencia de su primo inglés, el Typex, la Enigma era incapaz de imprimir y no tenía ranura para el papel. En lugar de ello, montado sobre el teclado, cuyas letras estaban dispuestas como las de una máquina de escribir alemana, había un despliegue de veintiséis lámparas, cada una de las cuales estaba etiquetada con una letra del alfabeto y dispuesta exactamente de la misma forma que las letras del teclado. Sobre el despliegue de lámparas, a su vez, había una tapa con bisagras dotada de tres pequeñas ventanas. Cuando se levantaba la tapa, se veían los tres rotores que eran los elementos clave de la ingeniería de la Enigma, cada uno de los cuales iba equipado con un anillo móvil marcado también con las veintiséis letras del alfabeto. Los tres rotores se podían quitar y recolocar de seis maneras diferentes.

El manejo de la máquina no requería ningún conocimiento de lo que transcurría en su interior. De hecho, lo único en lo que se tenían que poner de acuerdo de antemano el emisor y el receptor era el código clave, el orden de los rotores y la posición de los anillos. La idea era que las posiciones de cada día estarían impresas o en libros o en hojas de papel reunidas en cuadernillos, copias de los cuales se distribuirían a todos los miembros de la red de emisión y recepción; cada mañana los emisores y receptores «programarían» su Enigma con los ajustes necesarios para ese día antes de proceder al encriptado.

Supongamos que hubiera que enviar un mensaje. Primero se

consultaría la posición de los anillos, el orden de los rotores y la clave de tres letras para el día; a continuación, realizados ya los ajustes, se moverían los propios rotores para que la clave —digamos que es ATM— se viera a través de las tres ventanas de la tapa. Por último, se tomaría el mensaje y se escribiría en la Enigma letra por letra. Si la primera letra del mensaje fuese una E, se escribiría E, la máquina emitiría unos clics y zumbidos y entonces una de las lámparas —la que está marcada con la U, por ejemplo— se encendería. Procediendo de esta manera, se cifraría el mensaje entero, anotando cada letra, y luego se transmitiría el mensaje cifrado por telégrafo, radio o código morse. Entonces el receptor ajustaría su propia máquina Enigma con exactamente los mismos parámetros, introduciría el mensaje cifrado y —oh, maravilla— saldría a relucir el texto original. Ésta era la genialidad de la máquina Enigma. Su ingeniería no sólo garantizaba una seguridad inigualable; permitía cifrar y descifrar empleando los mismos parámetros. En otras palabras, si introducir una E en una Enigma programada con determinados parámetros daba lugar a una U, entonces introducir una U en una Enigma programada con los mismos parámetros daba lugar a una E. En cuanto a lo fundamental de su diseño, la máquina no se diferenciaba mucho de la mayoría de sus predecesores, que también funcionaban con un sistema de discos giratorios; lo que la hacía única era que sometía las letras que se le introducían a una batería de permutaciones adicionales, y que lo hacía a gran velocidad.

La máquina Enigma, usada por los alemanes para cifrar mensajes secretos durante la Segunda Guerra Mundial. (Hulton Archive/ Getty Images).

Los elementos más esenciales de la ingeniería eran los tres rotores, que iban dispuestos en tres ranuras de izquierda a derecha. En las partes izquierda y derecha de cada rotor desmontable había veintiséis puntos de contacto que correspondían a las veintiséis letras del alfabeto: los anillos de alrededor llevaban impresas las

propias letras, en orden alfabético, y podían girarse alrededor del rotor, alterando así cada día qué letra correspondía a qué punto de contacto (un día, por ejemplo, la A podía estar en el punto de contacto 17, al día siguiente en el punto 3, y así sucesivamente).

Dentro de cada rotor unos cables conectaban los puntos de contacto de la cara derecha con los de la izquierda. Este cableado, aunque arbitrario, era fijo; es decir, aunque los rotores se podían colocar en orden diferente, todos los rotores de todas las máquinas Enigma iban cableados de la misma forma. Esto garantizaba que el rotor 1 de la Enigma del emisor tuviera un cableado idéntico al del rotor 1 de la Enigma del receptor. Como el orden de los rotores era uno de los elementos que se fijaban de antemano, no había posibilidad de que se cruzaran los cables.

Una serie de interruptores conectaba el rotor del extremo derecho al teclado. En la versión comercial de la Enigma, las letras del teclado iban ligadas con los puntos de contacto del primer rotor en el mismo orden que estaba dispuesto en el teclado; en la versión militar, sin embargo, el cableado se cambió, y uno de los primeros retos con los que toparon los descifradores fue el de averiguar cuál era el nuevo orden. Como la fila superior de letras de una máquina de escribir alemana muestra los caracteres QWERTZUIO (a diferencia de QWERTYUIOP de las máquinas de escribir españolas o americanas), Dilwyn Knox, uno de los primeros ingleses en vérselas con la Enigma se refería al nuevo y misterioso orden de letra como el «qwertzu». Aunque Knox se temía que este orden resultara ser tan arbitrario que no hubiera forma de analizarlo, para su gran sorpresa, un grupo de criptoanalistas polacos bajo la dirección de Marian Rejewski pudo determinar en poco tiempo que en el modelo militar de la Enigma, los alemanes simplemente habían conectado las letras del teclado a los puntos de contacto del primer rotor en orden alfabético. Éste fue el primero de varios ejemplos en los que la pereza y falta de imaginación de los alemanes acabó ayudando a los descifradores de códigos en sus esfuerzos por derrotar a la máquina.

Cuando se escribía una letra en la Enigma, la corriente fluía desde el teclado hasta el rotor de la derecha, que giraba a la siguiente posición, cambiando así la identidad de la letra. La corriente continuaba a través de los otros dos rotores, en cada uno

de los cuales tenía lugar otra sustitución. La corriente pasaba entonces a un «reflector», un disco de media anchura en el extremo izquierdo de la máquina que sólo tenía puntos de contacto en su lado derecho. El reflector conectaba pares de letras, reemplazando la letra entrante por una segunda, que luego pasaría otra vez de vuelta por los tres rotores para pasar por otra tanda de sustituciones. Su función era garantizar que ninguna letra que se pudiera teclear acabara siendo cifrada como esa misma letra; también confería a la Enigma su propiedad de servir tanto como máquina de cifrado como de descifrado.

Un último elemento —incorporado a las Enigmas de uso militar — era un panel de conmutadores que recordaba a una antigua centralita de teléfonos y se encontraba en la base de la máquina, con veintiséis tomas *jack* (o «*steckers*») en los que se podían introducir cables. En estas máquinas las posiciones de los cables tenían que ser también acordadas de antemano. Los pares de letras conectadas serían sustituidos tanto antes como después de que tuviera lugar el proceso de cifrado: por poner un ejemplo, la P se podía conectar como V, lo cual supondría que cuando el operario de la Enigma escribiera una P, sería reemplazada de inmediato por una V, que a su vez pasaría por el proceso de cifrado. Del mismo modo, si al final del proceso de cifrado salía una C, podía ser reemplazada por una J, suponiendo que la C y la J estuvieran asimismo conectadas. Aunque en principio las veintiséis letras del alfabeto podían ir conectadas en trece pares, durante los primeros años del sistema Enigma sólo se hacía con seis pares, número que después aumentaría hasta llegar a diez. Uno de los principales retos que tenían ante sí los descifradores era determinar qué letras formaban tales pares.

Desde un punto de vista estadístico, la pura y simple cantidad astronómica de barajados al que la Enigma sometía al texto original entrante hacía casi indescifrable el sistema. En contraste con el cifrado Vigenère, en el que la secuencia de cifrados monoalfabéticos comenzaba de nuevo con cada repetición de la palabra clave, la Enigma tenía que pasar por el ciclo completo de los tres rotores —un recorrido de más de 17.000 letras— antes de que se repitiera una secuencia clave (tres rotores con veintiséis puntos de contacto cada uno implicaban que había 26^3, o 17.576 rutas posibles que

podía tomar una letra). Por añadidura, los rotores se podían desmontar y redisponer en cualquiera de los seis órdenes diferentes. Más adelante, el mando militar alemán le hizo añadir otros dos rotores más, haciendo así posible el disponer tres de los cinco en uno de los seis órdenes, para un total de sesenta órdenes de rotor posibles; más adelante todavía, el número de rotores se incrementó hasta ocho. El hecho de que la disposición de los anillos fuera ajustable permitía una complicación aún mayor, ya que el anillo de cada rotor podía colocarse en veintiséis posiciones diferentes, lo cual hacía un total de 676 posiciones si se tienen en cuenta todos los anillos. Por último, un panel de conmutadores que dispusiera de sólo seis cables podía dar lugar a 100.391.791.500 permutaciones más **[39]** .

No es de extrañar que, incluso hacia el mismísimo final de la guerra, cuando Turing y su equipo andaban descifrando mensajes a diestro y siniestro, los alemanes siguieran creyendo que el sistema Enigma era completamente inmune a los ataques. En su lugar, culparon al espionaje de los fallos de seguridad de los que estaban siendo testigos, o a la presencia de agentes dobles infiltrados en sus propias filas. Les resultaba inconcebible que un sistema de cifrado tan sofisticado como el de Enigma fuera susceptible de ser interceptado. Al fin y al cabo, era tecnología alemana. Sin embargo, al final, la Enigma resultó ser enormemente vulnerable. De hecho, bastante antes de que la partida de caza del capitán Risley llegara a Bletchley Park, el equipo de matemáticos polacos dirigido por Rejewski llevaba ya varios años leyendo comunicaciones militares alemanas por Enigma.

La asombrosa historia de los descifradores es todo un ejemplo del poder de las matemáticas. La ciencia «limpia y dócil» de Hardy, finalmente resultó ser más fuerte que todo el aparato bélico alemán, el cual, con toda su fanfarronería, acabó perdiendo la partida contra un grupo de matemáticos e ingenieros «empollones» que desarrollaban sus ideas sobre papel y a base de colocar interruptores dentro de unas máquinas poco agraciadas. La suerte también ayudó: los polacos, por ejemplo, tenían a su disposición una versión comercial de la Enigma y dos manuales alemanes robados del aparato, cada uno de los cuales iba acompañado de fotos e instrucciones. Disponían también de gran cantidad de

comunicaciones cifradas Enigma para analizar. De no haber sido, sin embargo, por los ramalazos de intuición que llevaron a Rejewski y su equipo a descifrar el código, quizá los telegramas interceptados no habrían dejado de ser un galimatías. El caso es que, por medio de una combinación de teoría matemática y pura paciencia, Rejewski —y más tarde Turing— lograron hallar una luz al final del túnel.

Hasta cierto punto, tuvieron éxito gracias a un punto flaco innato del diseño de la Enigma. En todos los aparatos, el rotor del extremo derecho tenía que pasar por todas sus veintiséis posibles posiciones antes de que el rotor central se moviera una sola vez. Como ha explicado Budiansky, esto suponía que durante tramos de veintiséis letras, en todo mensaje cifrado con el aparato Enigma, las posiciones a la izquierda de la rueda del extremo derecho permanecían inalteradas: precisamente la clase de punto flaco que los criptoanalistas entrenados saben cómo atacar. De haber estado el rotor rápido en la segunda o tercera posición, las perspectivas de acabar descifrando el código habrían sido mucho menos alentadoras.

En varios frentes, además, los esfuerzos alemanes por mejorar la seguridad de la Enigma acabaron paradójicamente por facilitarles la tarea a los criptoanalistas. Un ejemplo de esta clase de lapsus fue la decisión alemana, al principio de la guerra, de dar instrucciones a todos los componentes de su red Enigma de realizar cifrados dobles de los mensajes. Al enviar un mensaje, el operario no utilizaría la clave del día: en lugar de eso, escogería una clave al azar —GSX, digamos— y luego cifraría esa clave dos veces empleando la clave indicada para ese día, digamos AMT. El resultado sería una secuencia de seis letras (como JMGVEB) que representaría el cifrado doble de la clave elegida por el operario, GSX, empleando la clave indicada AMT. Al recibir el mensaje, el receptor pondría también su máquina Enigma en AMT y le introduciría JMGVEB, que saldría por el otro lado como GSXGSX, gracias a la capacidad reversible de la Enigma. El receptor volvería a ajustar entonces la Enigma en GSX para descifrar el mensaje.

Desde la perspectiva de un oficial del ejército alemán decidido a aumentar la seguridad de las comunicaciones por medio de Enigma, este sistema de cifrado doble debió parecer una jugada genial;

desde el punto de vista matemático, por el contrario, abría una brecha en el sistema. Las seis letras que encabezaban cada mensaje cifrado Enigma en un día dado —JMGVEB— venían a ser una tenue «firma»: es decir, en todos los mensajes enviados en un día dado, las primeras seis letras habrían sido cifradas usando la misma clave indicada de tres letras (en este caso, AMT)[6*]. En consecuencia, esto suponía que las primeras seis letras de todos los mensajes que se enviaban iban cifradas con el equivalente de un cifrado polialfabético cuya clave era de sólo tres letras, con todas las primeras letras codificadas según un cierto cifrado monoalfabético, todas las segundas letras codificadas según un segundo cifrado monoalfabético y sucesivamente. Además, habría una relación entre la primera y la cuarta letra del encabezado, como la habría entre la segunda y la quinta y entre la tercera y la sexta. Fue este punto vulnerable —la repetición en la firma— el que pudieron explotar Rejewski y sus colegas, pues les permitía construir cadenas de asociaciones de letras, y por medio de esas cadenas reconstruir todos los alfabetos cifrados necesarios para espiar el tráfico de información de cada día (la creación de cadenas de letras, por cierto, fue una innovación de la que Turing sacaría provecho al hacerse cargo del proyecto Enigma unos años después).

Por desgracia, los alemanes abandonaron pronto esta precaución en favor de un método más sencillo que no requería el uso de claves diarias. Ahora el emisor del mensaje elegía simplemente una clave él mismo (digamos AGH), y luego elegía una segunda clave (digamos DJX) con la que cifraba dos veces la clave original. Luego transmitía la clave original sin descifrar seguida por la versión cifrada dos veces de la clave original. El resultado sería algo como AGHLMODMP. El texto del mensaje sería cifrado entonces utilizando DJX como clave. El receptor ajustaría luego su Enigma en AGH para obtener la clave necesaria para descifrar el mensaje, en este caso DJX. El sistema no era vulnerable a la intercepción, porque hacía falta no sólo la clave AGH sino también la posición secreta diaria de los anillos para poder descifrar la clave DJX.

El nuevo método de transmisión de la clave, aunque más sencillo, dificultaba el criptoanálisis porque borraba la «firma» de la que dependían Rejewski y sus colegas. Sin embargo, había una manera de superar el problema. En un número de ocasiones

estadísticamente significativo y por puro azar, una letra del código clave que se transmitía acababa cifrada dos veces como la misma letra. Por ejemplo, en la demostración ofrecida arriba, LMODMP representa el cifrado doble de DJX: introducirlo en un aparato Enigma ajustado en AGH da como resultado DJXDJX. Obsérvese, sin embargo, que en este caso la J ha sido cifrada dos veces como M, por pura casualidad. Por razones que se han perdido para la historia, los polacos llamaban «hembras» a estas repeticiones. El colega de Rejewski, Henryk Zygalski, se puso a la tarea de catalogar cuáles de las 105.456 combinaciones de órdenes y ajustes de los rotores (es decir, 17.576 × 6) daban lugar a una hembra. Recolocando repetidas veces las hojas unas respecto de otras sobre una mesa de luz y anotando los puntos en los que la luz atravesaba totalmente las perforaciones, Zygalski fue capaz de deducir la posición de los anillos para un día dado, y por tanto de dar un primer paso para descifrar el tráfico de información.

Hasta este momento los polacos se habían enfrentado valientemente a todos los cambios que los alemanes introducían al sistema Enigma. Su ingenioso trabajo culminó con la invención de una máquina a la que Rejewski llamó la bomba, ya fuera por el sonido de tictac que producía o bien (explicación menos probable) porque se estaba comiendo una bomba de helado en un café cuando se le ocurrió la idea del aparato. La bomba era capaz de simular la actividad de varias Enigmas conectadas entre sí y podía recorrer las 17.576 posiciones posibles de los rotores en unas dos horas. En noviembre de 1938 había seis bombas polacas en funcionamiento. Entonces, el 15 de diciembre de 1938 y el 1 de enero de 1939 respectivamente, los alemanes introdujeron dos innovaciones a la Enigma que crearon enormes dificultades a Rejewski y a sus colegas matemáticos. Primero, los alemanes añadieron otros dos rotores al conjunto original de tres; a continuación, aumentaron el número de pares de letras conectadas en el panel de seis a diez.

El resultado desbordaba la capacidad de los polacos: no tenían ni el personal ni el dinero suficientes para enfrentarse a las apabullantes probabilidades que apuntaban en su contra, sobre todo dada la creciente vulnerabilidad de Polonia ante Alemania. Fue entonces, por tanto, cuando el grueso del esfuerzo criptoanalítico aliado se trasladó a Bletchley, donde Turing y Welchman tenían a

su disposición no sólo los recursos del gobierno británico, sino además una cantidad de personal considerablemente mayor. Antes de verse obligados a abandonar su país, sin embargo, los polacos lograron deducir el cableado de los dos rotores nuevos. Por tanto, pudieron darles a Turing y Welchman, a modo de regalo de despedida, el cableado completo de los cinco rotores.

4

Aunque las operaciones llevadas a cabo en Bletchley transcurrían supuestamente bajo los auspicios de los militares, el ambiente predominante en el lugar era muy relajado. Nadie llevaba uniforme. Las fotografías muestran a los criptoanalistas jugando a *rounders* [7*] sobre el césped del jardín delantero de la casa. Hacían descansos para tomar té y por lo general disfrutaban del aire fresco y del paisaje bucólico de la campiña local [8*]. Con todo, no hay la menor duda de que comprendían la importancia crucial de su trabajo. Por ejemplo, tuvieron muy claro que no iban a hablar de lo que estaban haciendo, ni siquiera con sus familias, no fuera a suceder que de alguna forma llegara a oídos de los alemanes que los aliados estaban leyendo su correo Enigma (durante años, todo lo que supo la madre de Alan Turing es que hacía algún tipo de trabajo para el gobierno). Una cierta suavidad de maneras de la clase alta inglesa definía el ambiente del lugar, un reconocimiento tácito de que por desesperada que se volviera la situación, el deber les exigía que continuaran trabajando, sonriendo y sobre todo, guardar silencio.

Y trabajar fue lo que hicieron. Para mayor seguridad, el trabajo se repartía entre grupos, cada uno de los cuales tenía asignado su propio edificio, la mayoría de los cuales eran «casetas» de madera que se habían construido para transformar la propiedad en un centro de descifrado y forzado de códigos. En la Caseta 8, Turing supervisaba la faceta teórica de los trabajos. Otras de las casetas se dedicaban a interceptar el tráfico codificado, a transcribirlo, a

traducirlo y a interpretarlo. Lo crucial es que cada caseta funcionaba independientemente de las otras, con lo cual Turing probablemente nunca se enteró de qué beneficios reportaron los mensajes que descifraba a los británicos en su lucha por derrotar a Hitler. Su atención debía concentrarse más bien sobre los dilemas teóricos y matemáticos inherentes al esfuerzo de romper un código tan difícil.

Un aspecto refrescante de la vida en Bletchley era el gran número de mujeres empleadas allí, en su mayoría *Wrens* (miembros del *Women's Royal Naval Service* o Servicio Naval Real Femenino) de Cambridge y Oxford, operarias de las máquinas de descifrado y que realizaban gran parte del trabajo de transcripción. De una fábrica de corsés cercana fueron contratadas otras trabajadoras. Había incluso una mujer en el equipo de criptoanálisis, Joan Clarke, una matemática con la que Turing estuvo comprometido brevemente. Según Hodges, cuando Turing le confesó su homosexualidad a su novia, ésta ni se inmutó; poco después, sin embargo, él decidió que no podía casarse y rompió la relación.

Como explica Singh, el advenimiento de la máquina Enigma presagiaba un cambio sustancial en la ciencia del criptoanálisis. «Durante siglos —escribe— se había dado por supuesto que los mejores criptoanalistas eran expertos en la estructura del lenguaje…»[42]. Ahora, sin embargo, los cazadores de talentos se concentraban sobre todo en encontrar hombres y mujeres que poseyeran tanto una capacidad creativa formidable como una paciencia innata. Además de los matemáticos de carrera, el equipo de Bletchley incluía al campeón británico de ajedrez Hugh Alexander, al escritor Malcolm Muggeridge y a los ganadores de un concurso que consistía en completar en el menor tiempo posible el crucigrama del *Daily Telegraph* (el tiempo récord fue de 7 minutos y 57,5 segundos). Para tener éxito en el criptoanálisis, también era necesario combinar la destreza matemática con cierto instinto para las aplicaciones prácticas: exactamente la receta que aplicó Turing a sus esfuerzos por resolver el *Entscheidungsproblem* y que le había hecho sentirse, en otros ambientes, como un bicho raro.

Al principio, Turing y sus colegas de *the Cottage* emularon los métodos de los polacos, fabricando una serie de hojas perforadas que se podían superponer una a la otra de varias maneras. Cuando

la luz atravesaba todas las hojas a la vez, significaba que los criptoanalistas habían detectado una «hembra». Luego, con el fin de acelerar el proceso de búsqueda de hembras, construyeron una pequeña máquina a la que llamaron, con bastante tino, «ciclómetro sexual».

No tardó, sin embargo, en quedar de manifiesto que los métodos del pasado no iban a ser suficientes, sobre todo a la luz de los cambios en el panel de conmutadores y el añadido de los nuevos rotores. En lugar de éstos había que desarrollar un marco del todo nuevo si el equipo de Bletchley quería tener éxito en descifrar siquiera una fracción del tráfico de información pasado por Enigma. Y éste fue el marco que Turing (al que sus subordinados les había dado por llamar *the Prof «el* Profe») logró desarrollar en un período de tiempo asombrosamente breve. El resultado fue «el libro del Profe», un documento desordenado y a veces ilegible de varios cientos de páginas de extensión en el que expuso en detalle los cimientos teóricos del ataque a Enigma que tenía planeado. Dado el incremento de la interconexión de letras en el panel, observó Turing, los criptoanalistas iban a tener que depender cada vez más de «chuletas»: segmentos concretos de texto normal que pudieran hacer casar con una seguridad razonable con segmentos concretos del texto cifrado. Como ejemplo de chuleta, Turing puso el texto normal (en alemán) *keine Zusätze zum Vorbericht* **[43]** («nada que añadir al informe preliminar»), que correspondía a un tramo de texto cifrado como sigue:

D A E D A Q O Z S I Q M M K B I L G M F W H A I V

K E I N E Z U S A E T Z E Z U M V O R B E R I C H T

La idea era hacer pasar el mensaje que contenía la chuleta a través de las varias posiciones posibles en los que el proceso de cifrado de una Enigma podía comenzar, y luego ver cuál de ellas, si es que era el caso de alguna, generaba un texto normal comprensible. Si ninguna de ellas funcionaba, sería necesario empezar de nuevo y tratar de emparejar la chuleta con otro segmento de texto cifrado. Pero era un proceso que requería muchísimo tiempo y en el que además era probable que, si trabajaban a mano, los criptoanalistas cometieran errores. Por añadidura, no era posible ni siquiera hacer

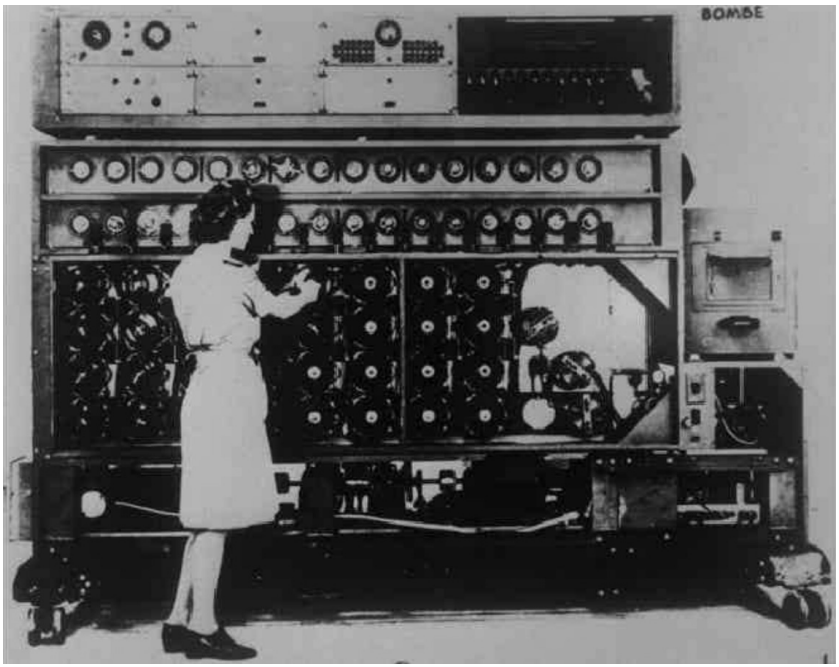
mella en el enorme volumen del tráfico Enigma utilizando solamente tijeras, plumas y lápices.

Al poco de llegar a Bletchley, a Turing le pareció evidente que la única forma de desentrañar un cifrado creado por una máquina sería por medio de una máquina. Su idea fue una variación sobre la que le había llevado a escribir «Números Computables». Esta vez, sin embargo, la máquina en cuestión no podía quedarse en mera hipótesis. Había que fabricarla.

El resultado fue la bomba de segunda generación, más rápida y también técnicamente más compleja que su predecesora polaca. También era mayor: de unos dos metros de altura y algo más de ancho, y pesaba una tonelada. En esencia, esta mole simulaba el trabajo de treinta máquinas Enigma trabajando a la vez. Los rotores —noventa en total— estaban montados sobre la cara delantera del inmenso aparato, y si se echaba un vistazo a la parte trasera, se veían más de dieciséis kilómetros de alambre conectado a los puntos de contacto de los rotores. La bomba podía mostrarse temperamental, pues repartía calambrazos entre sus operarios o lanzaba tarascadas a sus dedos. Perdía aceite y se atascaba de manera regular; pero funcionaba, y con el tiempo se encargó toda una serie de bombas, cada una de las cuales recibió un nombre único (entre ellos Victory, Otto, Eureka y Agnus Dei).

Diseñar la bomba le proporcionó a Turing la oportunidad, tras tanto esperar, de cumplir un sueño de toda la vida. De niño había diseñado el plano de una máquina de escribir. Tras escribir «Números Computables», había realizado progresos significativos hacia el objetivo de construir tanto el multiplicador electrónico y la máquina para poner a prueba los ceros de la función zeta de Riemann. Pero nunca había llegado a terminar ninguna de sus máquinas. Ahora, en Bletchley le estaban dando la oportunidad no sólo de aplicar los principios de la lógica matemática a la construcción efectiva de una máquina, sino también de supervisar su instalación y ponerla a funcionar. Lo milagroso de la bomba era que su enrevesada maraña de cables múltiples, bobinas e interruptores funcionaba totalmente de acuerdo con los métodos que Turing había asimilado a consecuencia de su profunda inmersión en el mundo de Frege y Russell; era como si el traqueteo de cada bomba al efectuar miles de eliminaciones y comprobaciones

cada día fuese el palpitar de la lógica misma.



La *bomba* en cuestión, diseñada por Alan Turing y sus compañeros en Bletchley Park para descifrar los mensajes de la Enigma. (Imperial War College).

Pero el logro de Turing iba más allá de la mera construcción de las bombas: junto con su colega Gordon Welchman, también ideó formas nuevas e ingeniosas de usar la máquina. Por ejemplo, uno de los mayores retos que tenían ante sí los criptoanalistas de Bletchley al principio de la guerra era el dilema de cómo hacerse cargo de los millones y millones de nuevas combinaciones de letras que resultaban del incremento de los pares de letras conectadas en el panel de seis a diez. Al principio el problema parecía insuperable; bastante pronto, sin embargo, a Turing se le ocurrió un modelo geométrico para cadenas de combinaciones de letras de la Enigma, que barrían por completo el efecto del panel de conmutadores. De hecho, aplicó el enfoque propio de un geómetra para encarar el problema.

Aquí está el ejemplo de Stephen Budiansky de lo que hizo Turing. Supongamos que, por medio de una chuleta, hemos hallado una correspondencia clara entre un texto normal y un texto cifrado. Primero disponemos las posiciones relativas de las letras:
Ahora es posible descubrir las relaciones geométricas entre las letras del texto normal y las letras cifradas. Por ejemplo, en la posición 6, la H se convierte en T, mientras que en la posición 3 la T se convierte en I; en la posición 2, I se convierte en M, mientras que en la posición 1, la M se convierte en H. Para las letras restantes podían hacerse bucles cerrados similares. Usando estos bucles, Turing fue capaz de elaborar un diagrama de la interconexión utilizado en cualquier mensaje dado, eliminando así los efectos del panel de conmutadores.

La intuición de Turing, en este caso, se debía enteramente a su formación matemática, de la que había aprendido que las relaciones geométricas permanecen constantes aunque cambien las variables a las que se aplican. Turing también explotó —astutamente— lo que se consideraban los mayores puntos fuertes de Enigma: su reversibilidad, que permitía que fuera utilizada como máquina tanto de cifrado como de descifrado, y el hecho de que nunca cifraba una letra como esa misma letra. Por último, incorporó una versión del principio de reducción al absurdo a la ingeniería de la máquina, capaz de hecho de sacar conclusiones de las contradicciones: es decir, estaba diseñada para interpretar el registro de un ajuste no válido de los rotores como una orden de poner a prueba el siguiente ajuste posible. La máquina sólo se detenía si había corriente en un solo circuito o bien en veinticinco, lo cual indicaba la posibilidad de un ajuste que funcionara.

En su esfuerzo por dominar la Enigma, Turing y sus colegas aprovecharon toda ayuda exterior que pudieron conseguir por pequeña que fuera. Gran parte de su trabajo descansaba sobre unos fundamentos matemáticos intrincados (y brillantes); al mismo tiempo, se beneficiaron considerablemente de la falta de imaginación (al parecer, endémica) del estamento militar alemán. Por ejemplo, hacerse con chuletas utilizables habría resultado considerablemente más difícil si los autores de los mensajes pasados por Enigma se hubieran molestado en evitar expresiones habituales o bien en ocultar el mensaje entre texto sin sentido. Lo más habitual

era que los mensajes interceptados en Bletchley estuvieran repletos de lenguaje formulario, clichés militares y repeticiones habituales: hedían a burocracia. (La mayoría de los mensajes, por ejemplo, mencionaban las condiciones climatológicas, casi siempre con la misma fórmula; así, como observa Singh, *Wetter* —el vocablo para «el tiempo» en alemán— era una chuleta común). Cuando la provisión de chuletas corría peligro de agotarse, la *Royal Air Force* a veces ayudaba a los criptoanalistas plantando minas en lugares especialmente escogidos para que los alemanes las encontraran y enviaran informes de los hallazgos; como los ingleses ya sabían dónde estaban las minas, estos informes de localización facilitaban chuletas ya confeccionadas que Turing y su equipo podían explotar. A este proceso se le denominaba, de modo pintoresco, «jardinería».

Otro error alemán del que Turing sacó el máximo provecho fue que al elegir las claves de tres letras de los mensajes, los operarios alemanes a menudo optaban por la ley del mínimo esfuerzo. Había operarios, por ejemplo, que elegían repetidamente las primeras tres letras del nombre de su novia, o a veces secuencias de letras que se obtienen con teclas dispuestas en vertical: RFV o TGB, pongamos. Los criptoanalistas sabían que había que buscar tales repeticiones, que llamaban *cillis*, o a veces *sillies* («tontadas»), y cuando las encontraban (cosa que sucedía a menudo), su trabajo resultaba tanto más sencillo.

Por último, los matemáticos de Bletchley recibieron bastante ayuda de la marina británica, que periódicamente conseguía confiscar aparatos del sistema Enigma, libros de códigos, cuadernos de registro y manuales de instrucciones de submarinos hundidos y arrastreros alemanes interceptados. En cierta ocasión, el artillero de un barco inglés consiguió salvar una bolsa de lona llena de agua que contenía los ajustes de dos días de Enigma y un cuaderno de operario con textos sin cifrar y cifrados completos de todos los mensajes que se habían enviado ese día **[44]**. En otra, los marineros que abordaban un submarino hallaron dos rotores de Enigma intactos: esto era un botín particularmente útil, porque llegó justo después de que los alemanes hubieran incrementado el número de rotores de cinco a ocho para el tráfico Enigma de tipo naval. Los dos rotores eran, precisamente, dos de los tres que se acababan de añadir.

Pero a cada suceso afortunado le seguía un revés. A veces los alemanes introducían cambios inesperados en el método de transmisión de los mensajes (normalmente con el propósito de aumentar la seguridad interna, no externa, y protegerse del espionaje), borrando así semanas enteras de intensa labor criptoanalítica y obligando al equipo de Bletchley a volver a empezar de cero. Aunque ciertas redes Enigma operaban según principios que hacían que su tráfico fuera más fácil de leer, uno de los sistemas —la Enigma naval— recurría a una serie de medidas adicionales de seguridad que hacían de su intercepción una tarea desquiciante. Por ejemplo, en la Enigma naval no sólo se aplicaba la medida de utilizar tres de los ocho rotores (incrementando el número de posibles órdenes de rotor en un factor de casi seis); también hacía uso de un reflector ajustable que podía variar entre veintiséis posiciones (más tarde la marina alemana empezó a usar una máquina Enigma de cuatro rotores). Para complicar las cosas todavía más, los operarios del sistema naval de Enigma prescindieron por completo del antiguo sistema de empezar cada mensaje con una versión cifrada de la clave necesaria para descifrar el mensaje; en lugar de ello, codificaban la clave utilizando un sistema completamente distinto basado en tablas de sustitución de bigramas. Dos grupos de tres letras escogidos por el operario se ampliaban con una cuarta letra escogida al azar, y luego se alineaban:
Luego las letras del grupo se emparejaban como «bigramas» verticales, o conjuntos de dos letras:

PM JQ LB OA

Los bigramas, a su vez, serían reemplazados por aquellos que indicaran una tabla de sustitución diaria de bigramas. La aparente impenetrabilidad de la Enigma naval era particularmente problemática, porque su tráfico contenía la información que el almirantazgo británico necesitaba con la máxima urgencia para defender las aguas del Atlántico y el Pacífico de los ataques de los submarinos.

En ocasiones, un cambio aparentemente sin importancia en el método de transmisión del tráfico Enigma —tal como una alteración en las tablas de sustitución de bigramas— era suficiente

para dejar empantanados a los criptoanalistas de Bletchley durante semanas. Afortunadamente, siguieron al pie del cañón; de hecho, si lograron vencer a Enigma se debió tanto a las monótonas horas de trabajo invertidas por los abnegados (y muy pacientes) hombres y mujeres de Bletchley como a los avances teóricos y de ingeniería de los que Turing fue el principal responsable. Por medio de un análisis infatigable de los fundamentos matemáticos de los cifrados polialfabéticos, de una explotación tenaz hasta de los puntos flacos más minúsculas de la máquina y el hábil empleo de aparatos eléctricos para mecanizar y, por tanto, acelerar enormemente la puesta a prueba y eliminación de miles y miles de posibles combinaciones clave, Turing consiguió hacer de Enigma, si no un antagonista inerme, al menos uno llevadero. Andando el tiempo consiguió incluso descifrar el código naval de Enigma, dando lugar así a un acusado descenso del número de hundimientos de barcos aliados a manos de los submarinos. Fue un golpe, una gesta heroica incluso, que contribuyó de manera significativa a la derrota de Hitler.

Fue también un empeño del que Turing fue el organizador indiscutible. Es cierto que hay que otorgar a los polacos todo el crédito por la concepción original de la bomba. Sin embargo, como señala Budiansky, «la inspiración matemática fundamental de la bomba británica era enteramente cosa de Turing» **[45]**, como lo era «el descubrimiento de que los tramos correspondientes de texto normal y cifrado definían una relación geométrica característica» y «la idea de volver a pasar una contradicción por un bucle interconectado de máquinas Enigma». Como observa Hodges, Turing acabó ganándole la partida a Wittgenstein, ya que «estas contradicciones en particular iban a lograr que algo le saliera muy mal a Alemania, haciendo que los puentes se cayeran» **[46]**.

5

Fue durante sus años en Bletchley que Turing se ganó su reputación

de excéntrico, socialmente torpe y desaliñado. El episodio de su alistamiento fallido en la *Home Guard* data de este período, como también ciertas leyendas que, ciertas o no, todavía circulan: que llevaba puesta una máscara de gas cuando acudía al trabajo en bicicleta todas las mañanas (supuestamente con el fin de evitar respirar el polen); que cuando iba en bicicleta contaba las revoluciones de las ruedas y que se detenía una revolución antes de que se saliera la cadena; que al final de cada día encadenaba su taza de té al tubo de un radiador. En Bletchley corría el rumor de que Turing se sujetaba los pantalones con una cuerda, de que llevaba pijama debajo de la chaqueta deportiva, que rara vez se afeitaba ni se cortaba las uñas. Todo eso puede haber sido cierto: nunca había sido muy aseado. Un comportamiento atípico como el que mostraba, además, podría despacharse fácilmente como típico de un cierto estereotipo: el del sabio distraído, del que Sidney Stratton era otro ejemplar. Aun así, limitarse a burlarse del peculiar comportamiento de Turing durante sus años en Bletchley es perder de vista sus consecuencias tanto más inquietantes como menos cómicas. Sí, las tazas de té escaseaban durante la guerra, pero ¿no indicaba una cierta paranoia encadenar una de ellas al radiador? Lo mismo se puede decir del recuento obsesivo de revoluciones de las ruedas de una bicicleta que nunca hizo arreglar, pues de haberlo hecho, como observa Hodges, eso habría supuesto que otra persona pudiera usarla[47]. Turing quizá desdeñaba las convenciones sociales (rebelándose contra los estereotipos masculinos, aprendió a tejer mientras estaba en Bletchley), y quizá carecía de paciencia para «la pomposidad de los círculos oficiales… No estaba dispuesto a soportar a los tontos ni a los farsantes de tan buen grado como a veces hace falta»[48]. Con todo, él mismo había admitido la necesidad de acordarle un lugar, al menos hasta cierto punto, a las sutilezas de la vida social, al escribir a su madre desde Princeton que su amigo Maurice Pryce era «mucho más consciente de las cosas que hay que hacer para favorecer su carrera»[49]. Obligado por juramento a guardar silencio en lo concerniente a su trabajo, desprovisto prácticamente de cualquier posibilidad en lo sexual e impedido de realizar su trabajo con la máquina universal para el que se había estado preparando antes de la guerra, parece que el comportamiento de Turing llegó a ser totalmente inaceptable en

Bletchley, donde perdió gradualmente toda capacidad que pudiera tener para jugar conforme a las reglas.

Según se iba acercando el final de la guerra, el trabajo que en un principio había sido orquestado por Turing podía progresar más o menos por su cuenta. El objetivo de descifrar el tráfico Enigma en Bletchley estaba alcanzando un nivel de éxito con que el que apenas habrían soñado los criptoanalistas más exageradamente optimistas. Operar las bombas se convirtió en una cuestión industrial. «¡Se acabó el trabajo! Recoged los cables», gritaban los operarios una vez que se lograba romper el cifrado Enigma del día. Pero a medida que la máquina bien engrasada del descifrado empezaba, por así decir, a funcionar por sí misma, a su arquitecto le iba quedando cada vez menos que hacer. Bletchley le envió a Estados Unidos para recabar información para construir una bomba electrónica con el fin de poder enfrentarse a la amenaza de una Enigma naval de cuatro rotores. También contribuyó a la construcción de una máquina que tenía el fin de descifrar una clase de tráfico totalmente diferente, cifrada en un teletipo conocido como Fish. En un sentido más inmediato, sin embargo, su trabajo como descifrador había terminado.

La magnitud de su contribución al esfuerzo bélico —del que no habló jamás en su vida— no se puede subestimar, y aunque probablemente sería exagerado decir que sin Turing los aliados no habrían ganado, es razonable suponer que sin él habrían tardado varios años más en lograrlo. Además, si las autoridades británicas hubieran sabido que Turing era homosexual, quizá se habrían negado a permitirle que se aproximase a Bletchley, en cuyo caso, como observó su amigo Jack Good, «podríamos haber perdido la guerra» **[50]** .

Los años que Turing pasó en Bletchley constituyen el período mejor documentado de su vida, pero al fin y al cabo su trabajo como descifrador venía a ser una distracción muy prolongada de su sueño de construir una máquina universal. En efecto, las bombas venían a estar todo lo lejos de lo universal que se podía estar. Su mismo diseño garantizaba que quedarían obsoletas, pues dependía de los caprichos y particularidades de otra máquina mucho más pequeña, la Enigma, de la que la bomba era la sombra enorme y distorsionada. Tampoco lo exigente de la tarea ni la presión por

descifrar la mayor cantidad de tráfico Enigma posible con la máxima rapidez le dejaban a Turing ningún ocio ni tiempo libre para experimentar con la posibilidad de preparar una máquina universal para la tarea específica de descifrar códigos. La rapidez era esencial. Puesto que en «Números Computables» el propósito de la máquina sobre la que escribió Turing era sólo teórico, el que fuera lenta o rápida carecía de importancia. Pero durante la guerra no había tiempo que perder. La vida dependía —literalmente— de lo bien que la bomba fuera capaz de hacer su trabajo.

En la actualidad Bletchley Park sigue funcionando como una especie de museo y monumento a los hombres y mujeres que dedicaron tantos años a forzar el código Enigma. Hay una estupenda tienda de regalos donde se pueden comprar llaveros Enigma, camisetas e imanes de pared. Las antiguas Wrens, ahora con más de ochenta años, conducen a los turistas de visita guiada por la mansión, los edificios exteriores y las varias casetas, incluida la Caseta 8, que ahora contiene una réplica enorme de una de las bombas. Es de suponer que las originales fueran destruidas tras finalizar la guerra, tanto por razones de seguridad como porque ya no tenían utilidad alguna. Eran tan desechables como los blocs de un solo uso que se usaban al enviar un cifrado.

Las huellas de Turing están por todas partes. Las guías, a lo largo del recorrido hablan cariñosamente de «*the Prof*». Muestran con orgullo los remos ornamentales de una carrera de las llamadas *bumps race* de 1935 en el King's College que alberga el edificio principal, que llevan grabada la información de que Turing ha reemplazado a W. M. «Bill» Coles en la barca número dos.

Durante un paréntesis de mi visita a Bletchley, según nos íbamos aproximando al monumento a los descifradores polacos, le comenté a mi guía que estaba escribiendo un libro sobre Turing. Meneó la cabeza y dijo: «Qué tragedia. En aquellos tiempos la gente no comprendía lo de la homosexualidad».

Lo que implicaba eso, claro está, es que hoy en día la gente lo comprende mejor.

—¿Le conoció? —pregunté.

—Sí, claro —respondió—. A veces se sujetaba los pantalones con un cordel.

Sin embargo, antes de que pudiera preguntar nada más, los

visitantes se quedaron todos en silencio. La guía se aclaró la garganta y empezó a contarnos la asombrosa historia de Marian Rejewski.

6
El atleta electrónico

1

En el verano de 1942, Max Newman, el mentor de Alan Turing en Cambridge, llegó a Bletchley, donde fue asignado al análisis del tráfico Fish. La contribución de Turing al proyecto había consistido en el desarrollo de un proceso estadístico conocido como Turingismus. (Los matemáticos presentes en Bletchley eran aficionados a esa clase de apodos; un procedimiento desarrollado por Turing como parte del ataque contra la Enigma naval fue apodado Banburismus, puesto que las hojas sobre las que él y sus colegas redactaron sus datos estaban impresas en Banbury). Los esfuerzos por descifrar a mano el tráfico Fish tuvieron lugar en una sección de Bletchley llamada «the Testery», pero con la llegada de Newman cambió el énfasis. Al igual que el código Enigma, el Fish lo generaba una máquina alemana, la Lorenz. Ahora bien, Newman extrajo la conclusión, como antes de él había hecho Turing, de que el único modo de romper esa clave generada por máquina era con una máquina diseñada específicamente con ese propósito. De manera que se puso a trabajar en la Caseta 11, que llegó a ser

conocido como «the Newmanry». En el transcurso de su investigación, se le brindó la asistencia de los ingenieros del recién establecido Telecommunications Research Establishment, o TRE, en Malvern, así como la del Post Office Research Station de Dollis Hill, en los suburbios de Londres.

La primera de las máquinas diseñadas para enfrentarse a la Lorenz fue entregada por el servicio de correos a Bletchley en junio de 1943. Se llamaba Heath Robinson, en honor del caricaturista eduardiano en cuyos dibujos aparecían artilugios inmensamente complejos que llevaban a cabo tareas absurdamente simples o simplemente absurdas. (Entre las Robinson subsiguientes figuraron un Peter Robinson y un Robinson and Cleaver, bautizada en honor de unos grandes almacenes londinenses)[1]. Por desgracia, el nombre Heath Robinson resultó ser profético: la máquina tenía muy mal genio, y era propensa a estropearse y a incendiarse. Peor aún, las cintas de teletipo fundamentales para su diseño tendían a romperse. Afortunadamente, Newman no tardó en encontrar un aliado en el ingeniero electrónico Tommy Flowers, destinado en Dollis Hill, y con la ayuda de Flowers pudo superar las dificultades técnicas que aquejaban a las Robinson. El resultado fue la Colossus, mucho más eficiente, que utilizaba mil quinientas válvulas electrónicas y con la que Newman se enfrentó con éxito al tráfico Fish.

Dado que el arquitecto de la misma era su antiguo mentor, cabría imaginar que Turing habría desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la Colossus. A medida que la guerra se aproximaba a su fin, sin embargo, Turing había comenzado a apartarse del criptoanálisis y a internarse en otras áreas de investigación. Además de su estancia en Washington, su viaje a Estados Unidos había incluido una visita a Bell Labs, en Nueva Jersey, donde pasó dos meses estudiando la ciencia relativamente nueva del encriptamiento de voz: esencialmente, la manipulación y distorsión deliberadas de las ondas sonoras por medio de una señal que funcionase como clave o indicador y que podía aplicarse tanto por parte del emisor como por el receptor del mensaje, codificando o descodificando según el caso. La teoría que hay tras el encriptamiento de voz no era muy distinta de aquella según la cual había sido diseñada Enigma; la diferencia residía en que, en lugar

de la escritura, era la voz misma la que se volvía ininteligible. Se trataba de una idea que fascinaba a Turing; sobre todo después de tantos años investigando y explotando las vulnerabilidades de los códigos de los demás, le entusiasmaba la oportunidad de aplicar todo lo que había aprendido al diseño de un sistema propio verdaderamente inexpugnable.

Su contacto con las actividades que tenían lugar en Bell Labs no fue la única fuente de liberación experimentada por Turing durante los meses que pasó en Estados Unidos. También conoció a Claude Shannon, pionero estadounidense de la informática destinado en el MIT, con quien debatió largo y tendido la cuestión de si podía construirse una máquina que imitase el comportamiento del cerebro humano. Shannon, que lo creía posible, llegó a imaginar un día en que los seres humanos les leyesen poesía a las máquinas o interpretasen música para ellas. Turing también pasó un tiempo considerable en Nueva York, donde expresó su asombro ante la naturalidad y soltura con que un desconocido se le insinuó en un hotel (otra clase de liberación) [2].

Al haber adquirido unos buenos conocimientos básicos tanto del equipo electrónico como de la teoría matemática requerida para diseñar un sistema de encriptamiento de voz, regresó a Bletchley en la primavera de 1943, donde descubrió que los de la Caseta 8 apenas le habían echado de menos. El campeón de ajedrez Hugh Alexander, un gerente más capaz y más ambicioso, se había hecho poco más o menos con el control de la Enigma naval. Turing debió de sentirse como un padre cuyo hijo hubiese llegado a la adolescencia y ya no le necesitara al ver la bomba hacer tictac mientras unas atareadas *Wrens* reposicionaban y reorganizaban los rotores. Por añadidura, no tenía especiales deseos de unirse al equipo de «the Newmanry», dado que la mayor parte del trabajo realizado en el Colossus había tenido lugar durante su ausencia. Pese a que Turingismus había proporcionado la base teórica y estadística para el diseño del Colossus, la máquina no era su «criatura» como lo había sido la bomba. Además, su imaginación le estaba llevando por nuevos derroteros.

También le estaba apartando de Bletchley. No muy lejos de allí —a sólo unos dieciséis kilómetros más al norte— se encontraba otra finca rural, Hanslope Park. La casa se remontaba a finales del siglo

XVIII y desde 1941 había servido de base para la «Unidad de Comunicaciones Especial N.º 3» del servicio secreto. Bletchley empezaba a estar superpoblado y, dada su cercanía, parecía natural que Turing estableciera allí su cuartel general, donde, en compañía de sus jóvenes asistentes Robin Gandy (que más tarde escribiría exhaustivamente sobre Turing) y Donald Bayley, se puso a trabajar en el proyecto de encriptamiento de voz, ofreciéndole, al típico estilo de Bletchley, un premio a cualquiera de sus colegas que fuese capaz de encontrar el nombre más apto para el mismo. El vencedor fue Gandy, con Delilah [Dalila], en referencia a la tentadora bíblica que engañó a Sansón.

En Hanslope el ambiente era mucho más formal que en Bletchley. Para empezar, había una presencia militar mucho más visible. Por añadidura, los poderes fácticos no le concedieron a Turing ningún privilegio especial. En lugar de eso, se le cedió un espacio en una gran caseta en la que se estaba llevando a cabo una gran variedad de programas de investigación. De nuevo, su propia contribución a Delilah hacía menos hincapié en los soportes físicos que en el establecimiento de una base teórica sólida para el sistema; era como si, a cada oportunidad, estuviese empeñado en demostrar que Wittgenstein se equivocaba en lo referente a la caída del puente, asegurándose de que cada paso que daba estuviese apuntalado por la lógica. La mayor parte del trabajo práctico se la dejó a Bayley, un joven de las Midlands inglesas que acababa de terminar su carrera en ingeniería electrónica en la Universidad de Birmingham; lo que a Turing le interesaba era la teoría que había tras la máquina, que él estaba empeñado en hacer tan impresionante por su sencillez como por su invulnerabilidad. No era la primera vez que comprendía las ventajas de aplicar los requisitos estéticos establecidos por Hardy para las demostraciones matemáticas a la actividad, mucho menos enrarecida, de la construcción de aparatos.

Por fin Turing abandonó el Crown Inn, alojándose primero en la residencia de oficiales de Hanslope y luego en una casita del huerto de la finca, que compartía con Gandy y con un gato llamado *Timothy*. Se aficionó a correr largas distancias, leyó mucho a Trollope y a Jane Austen y asistió a las fiestas de la residencia; desde su estancia en Princeton, era la primera vez que disfrutaba de

algo semejante a una vida social normal. Con el final de la guerra a la vista, ya no era necesario que practicase la clase de austeridad social a la que se había aclimatado en Bletchley. A la gente le estaba permitido volver a tener necesidades personales. Nunca se había mostrado reticente acerca de su homosexualidad. En efecto, en una época en la que miles de ingleses mantenían existencias heterosexuales de puertas afuera a la vez que en secreto llevaban a cabo «ultrajes contra la moral pública», Turing había dado muestra de un grado notable de confianza y comodidad con su identidad sexual. Que consideraba ésta como parte de su identidad desde un principio era algo que le enfrentaba con el pensamiento dominante de su tiempo y era a la vez, sin duda, reflejo de los años que había pasado en los privilegiados pasillos del King's College.

Y no es que fuese en modo alguno un militante. Más aún, en contraste con la actitud de Edward Carpenter, el matemático devenido luego en filósofo, cuyo ideal de camaradería masculina inspiró a Forster a escribir *Maurice*, la actitud abierta de Turing se debía menos a un proceso de decisión consciente que a una alergia a la deshonestidad producto de la conocida literalidad de su forma de pensar. En definitiva, Turing sólo era capaz de guardar un secreto cuando creía que había una buena razón para hacerlo. En el caso de Enigma existía evidentemente una pléyade de motivos para no contarle a nadie nada acerca de la labor que había llevado a cabo. En lo referente a su homosexualidad, no veía motivos para disimular. (Lyn Newman recordaría que Turing «encontraba de tan mal gusto la idea de engañar a la gente que suponía que a casi todos los demás les ocurría lo mismo» [3]).

De modo que hubo gente a la que se lo contó. Se lo contó a Joan Clarke. Se lo contó incluso a Don Bayley, su ayudante en Hanslope. Tal y como la ha descrito Hodges, la conversación no tuvo nada de sombrío ni de serio. No le pidió a Bayley que tomara asiento antes de decirle que tenía algo grave o trascendental que comunicarle. Más bien se limitó a dejar escapar la noticia con naturalidad, mientras trabajaban. La reacción de Bayley —una franca repugnancia muy acorde con su educación de chico de las Midlands — desconcertó por completo a Turing.

De acuerdo con la versión que del incidente nos ofrece Hodges, lo que horrorizó a Don Bayley no fue el simple hecho de la

homosexualidad de Turing, que podía considerarse como parte integrante de su excentricidad general; era que «Turing parecía opinar que era perfectamente natural y poco menos que se enorgullecía de ello»[4]. Que él se negase a demonizarse a sí mismo, sin embargo, no significaba que otros no fueran a hacerlo: parece ser esto lo que fue incapaz de, o se negó a, comprender. Forster, menos crédulo y, en general, más pesimista, temía que *Maurice* pudiese provocar una reacción semejante, y en consecuencia optó por no publicar la novela en vida. «De haber tenido un final triste, en el que un muchacho terminaba colgado de una cuerda, o con un pacto suicida, todo habría ido muy bien»[5], escribió en 1960, en una nota final a la novela. «Carpenter —agregó más adelante en esa misma nota— había esperado el generoso reconocimiento de una emoción y la reintegración de algo primigenio en el tronco común[6]. Y yo, aunque menos optimista, había supuesto que un mayor conocimiento acarrearía la comprensión. No nos habíamos dado cuenta de que lo que el público aborrece en la homosexualidad no es ésta en sí misma sino el tener que pensar en ella». Cabe suponer que fue «el tener que pensar en ella» lo que causó tal repugnancia en Bayley.

El problema, en parte, residía en la soledad. A pesar de su comodidad con la homosexualidad, efectivamente lindante con el orgullo, Turing jamás había tenido una relación verdaderamente satisfactoria con otro hombre. Más bien, su vida erótica hasta la fecha había consistido en ataques de pasión no correspondidos —en general hacia varones heterosexuales que no sentían interés alguno por él— alternados con esporádicas «amistades con consecuencias» con otros varones homosexuales por los que sentía un escaso interés sexual, y de los que estaba muy lejos de estar enamorado. Estas amistades, por su propia naturaleza, eran una forma de salir del paso. Aunque fuesen mejor que nada, no resistían la comparación con el ideal inalcanzado encarnado por Christopher Morcom. No parece improbable que cuando Turing dejó escapar «de forma accidental» el dato de su homosexualidad, en particular ante un joven como Bayley, esperase contra todo pronóstico que la confesión provocase la expresión de un deseo recíproco, cosa que rara vez sucedía. Más tarde le dijo a Robin Gandy: «A veces estás sentado hablando con alguien y sabes que dentro de tres cuartos de

hora o bien estarás pasando una noche maravillosa o te expulsarán a patadas de la habitación»[7]. Con Bayley, no cabe duda que le echaron a patadas de la habitación; es más, se consideraba afortunado de que Bayley accediese a seguir trabajando con él.

Hacia la primavera de 1945, Delilah ya estaba operativa. Llegó demasiado tarde para tener utilidad práctica alguna para la guerra, y quizá en parte se deba a eso que el servicio de correos mostró tan poco entusiasmo por ella. (Otro motivo era que el resultado no era perfecto). Muy pronto se solucionaron los problemas, pero para entonces, como solía ser el caso típico tratándose de Turing, éste había perdido interés en el proyecto, ya que se había apoderado de él una idea nueva (o quizá sería más preciso decir que había vuelto a apoderarse de él). Delilah era una máquina con un solo propósito, construida con la finalidad concreta de derrotar a otra máquina. Ambas eran más bien semejantes a las amistades que en la vida de Turing habían servido de suplentes para los amoríos que jamás conoció. Ahora quería el artículo genuino: construir una máquina que fuese no sólo universal sino a la cual, como había especulado Claude Shannon, se le pudiera leer un poema o interpretar una pieza musical: una máquina de la que pudiera decirse que pensaba.

2

En junio de 1945, Turing aceptó un puesto temporal como científico en el National Physics Laboratory de Teddington, un suburbio del norte de Londres colindante con Bushey Park, dotado con un salario de ochocientas libras esterlinas anuales. Desde 1938 el laboratorio se encontraba bajo la dirección de sir Charles Galton Darwin (1887-1962), nieto del padre de la teoría de la evolución, y él mismo un experto en matemática aplicada de Cambridge cuya especialidad era la cristalografía de rayos X. Entre las iniciativas de Darwin en el laboratorio estaba la creación de una nueva sección de matemáticas, a cuyo director, J. R. Womersley, se le había encomendado el mandato para iniciar un programa de investigación

acerca de «la posible adaptación de los equipos de telefonía automática a la computación científica», así como el desarrollo de un «aparato de contabilidad electrónica apto para las computaciones aceleradas» [8].

En parte, lo que motivaba a Darwin y Womersley era el temor a que Estados Unidos le hubieran tomado la delantera a Gran Bretaña en la investigación informática. Aquel mismo año, en el Moore School of Engineering de la Universidad de Pensilvania, un ordenador denominado el ENIAC (siglas de *electronic numerical integrator and calculator*) entraba en funcionamiento. Creación de John Mauchley y J. Prosper Eckert, cuyas existencias posteriores quedarían destrozadas por litigios en torno a la patente, el ENIAC empleaba 17.468 tubos de vacío (frente a los 1.500 del Colossus) [9], además de 70.000 resistencias, 10.000 condensadores y 5 millones de junturas soldadas. Su principal objetivo era la velocidad, como dejaba clara la solicitud de la patente:

> Con el advenimiento del empleo cotidiano de cálculos complejos, la velocidad ha adquirido una importancia tan primordial que hoy en día no existe máquina en el mercado capaz de satisfacer la demanda completa de los métodos computacionales modernos. Las máquinas más avanzadas han reducido en gran medida el tiempo requerido para hallar la solución de problemas que, con los procedimientos más antiguos, podían requerir meses o días. Este progreso, sin embargo, no es apto para muchos de los problemas con los que tiene que lidiar el trabajo científico moderno y el invento presente tiene por objetivo reducir tan largas computaciones a apenas unos segundos… [10]

En otras palabras, la intención que guiaba al ENIAC era que fuese principalmente una calculadora muy veloz, y no la clase de máquina, cabe suponer, que respondería con mucho entusiasmo ante un soneto o una sonata. Por añadidura, al ser en su práctica totalidad *hardware*, se apartaba radicalmente de la idea turingiana de una máquina universal, lo que suponía que para cambiar la programación había que abrirla y volver a conectar uno a uno sus

miles de interruptores y cables. Por tomar prestada una frase de Turing, alterar el ENIAC requería «interferencias de destornillador»[11] en lugar de «interferencias de papel». Turing, por otro lado, pensaba en una máquina cuyo *hardware* estuviese tan racionalizado como fuese posible y que, por tanto, se adaptase a diferentes objetivos simplemente con cambiar sus tablas de instrucciones.

Fue en este punto cuando John von Neumann volvió a hacer acto de presencia. Como Turing, Von Neumann (O Johnny, para los amigos) había pasado los años de la guerra como asesor de los militares, en particular en relación con el desarrollo de la bomba de hidrógeno. También sirvió como miembro del *Scientific Advisory Committee* (Comité de Asesoría Científica) para los *Ballistic Research Laboratories* (Laboratorios de Investigación Balística) del *Aberdeen Proving Ground* (Terreno de Pruebas de Aberdeen) en Maryland. Todo ello era un trabajo que requería unos cálculos a gran escala del tipo exacto para el cual ENIAC (sobre la cual Von Neumann hizo consultas) fue diseñada. Al mismo tiempo, Von Neumann reconocía las limitaciones de ENIAC; con su formación como lógico, pensaba en una máquina menos dependiente de la ingeniería, más flexible en términos de programación y —quizá lo más crucial— depositaría de una enorme memoria. La máquina había de llamarse EDVAC (*electronic discrete variable automatic computer*), y el 30 de junio de 1945, se entregó una propuesta para su diseño al *U. S. Army Ordinance Department* (Departamento de Armamento del Ejército de los EE. UU.) a nombre de Von Neumann.

No resulta demasiado exagerado decir que en el informe las huellas dactilares de Turing están presentes por doquier. Por ejemplo, respecto de la memoria, escribe Von Neumann:

> Si bien resultó que las diversas partes de la memoria tienen que realizar funciones que difieren un tanto en su naturaleza y considerablemente por lo que se refiere a su propósito, no obstante resulta tentador tratar la memoria en su conjunto como un órgano único, y hacer que sus partes sean tan intercambiables como sea posible para las diversas funciones arriba enumeradas. [12]

Como señala Hodges, el «órgano único» de Von Neumann es prácticamente el equivalente de la «cinta» de Turing; es más, esa idea que encuentra «tentadora» constituye el meollo mismo de «Números computables». De igual forma, el EDVAC tenía un programa almacenado, frente al sistema de programación basado en cables del ENIAC. Y no obstante, el informe del EDVAC no contiene una sola mención del nombre de Turing. Si, como sostenía Von Neumann, era cierto que jamás había vuelto a leer otro artículo de lógica después de su infortunado encuentro con Gödel en Königsberg, entonces su reiteración de muchos de los puntos clave de Turing no sólo en el informe del EDVAC, sino en varios artículos de aquella época, era otro asombroso ejemplo de más de dos matemáticos haciendo el mismo descubrimiento con pocos años de diferencia.

Entre Von Neumann y Alonzo Church, parece que Turing había dejado tan escasas impresiones en Princeton que era como si nunca hubiera pasado por allí. Y no obstante, si a Turing le sentó mal la aparente apropiación sistemática de sus ideas por parte de Von Neumann, no dijo nada al respecto, al menos en público. Más bien se centró en las diferencias y, una vez instalado en Teddington, puso manos a la obra a una propuesta propia para un ordenador que habría de denominarse ACE, siglas de *automatic computing engine*. (El empleo del término *engine* —«motor»— podría haber sido una alusión deliberada al motor analítico de Babbage). El informe de Turing sobre el ACE, publicado en 1945 y destinado según él a ser leído al mismo tiempo que el de Von Neumann sobre el EDVAC, está mucho más densamente detallado que el de éste, e incluye diagramas de circuitos lógicos y un presupuesto (once mil doscientas libras esterlinas). También postulaba una máquina que en muchos aspectos era más radical y desde luego más minimalista que el EDVAC, por no hablar de la mayor parte de las computadoras en funcionamiento en la actualidad.

Lo que hacía único al ACE, en palabras de Turing, era su capacidad de «abordar de forma completa los problemas. En lugar de emplear trabajo humano para ir extrayendo las respuestas parciales de la máquina y volver a introducirlas en el momento apropiado, de todo esto se encargará la propia máquina»[13]. La autosuficiencia, sin embargo, era sólo una de las varias facetas de la

máquina que la distinguían de predecesores suyos como el ENIAC[1*]. También habría de ser mucho menos dependiente del *hardware*:

> No habrá absolutamente ninguna alteración interna que efectuar incluso si de pronto queremos pasar de calcular los niveles de energía del átomo de neón a la enumeración de grupos de orden 720. Podría parecer un tanto desconcertante que esto pueda hacerse. ¿Cómo puede uno esperar que una máquina realice toda esta multitudinaria variedad de cosas? La respuesta es que debemos considerar que la máquina hace algo muy sencillo, a saber, ejecutar las órdenes recibidas en un formato estándar que es capaz de comprender.[14]

La máquina, en otras palabras, sería capaz no sólo de «cuidar de» sí misma, sino también de «comprender» instrucciones. El lenguaje de Turing ya le confería el estatuto de persona, el cual no debía interpretarse como una mera metáfora o siquiera, como habría dicho quizá Keynes, como un «estado anímico»: más bien, se debía por completo a la independencia del ACE de la «interferencia de los destornilladores», al hecho de que las instrucciones introducidas desde el exterior eran lo que le proporcionaban su identidad. En efecto, en una conferencia que dio sobre el ACE el 20 de febrero de 1947, Turing llegó a sugerir que, de modo muy semejante a la forma en que un niño madura en respuesta a los estímulos sociales y la educación, quizás una máquina semejante fuera capaz de «madurar»: «Es posible que siga produciendo los resultados para los que fue construida, pero de una forma mucho más eficiente… Sería como un alumno que hubiese aprendido mucho de su maestro, pero que a ello hubiera añadido mucho más por medio de su propio esfuerzo. Cuando sucede algo así, soy del parecer de que hay que entender que la máquina da muestras de inteligencia»[15].

En teoría el ACE podía «aprender por experiencia», pero sólo si se cumpliesen determinados requisitos técnicos. En primer lugar, su memoria, «si no infinita»[16], tendría que ser «muy voluminosa». Otro «rasgo deseable»[17] sería que «fuese posible grabar datos en la memoria desde el interior de la máquina de computar, y ello

debería ser posible con independencia de que el espacio de almacenamiento ya contuviera algo o no, es decir, este espacio debería ser *borrable*». Pero ¿qué forma debería adoptar ese espacio? En alusión a «Números computables», Turing rechazó su vieja idea de una «cinta infinita», sobre la base de que habría que invertir demasiado tiempo en «recorrer la cinta de arriba abajo para llegar al punto en que estuviera almacenado un fragmento particular de información requerido en ese momento. Por consiguiente, un problema podría requerir fácilmente un espacio de almacenamiento de tres millones de entradas, y si cada entrada tuviera las mismas probabilidades de ser la siguiente en ser solicitada, el recorrido medio por la cinta sería de un promedio de un millón de entradas, lo que resultaría intolerable». Lo que hacía falta era «una forma de memoria con la que pudiera obtenerse cualquier entrada requerida en breve tiempo»[18]. Para disponer de «una máquina verdaderamente veloz»[19], concluía Turing, «hemos de disponer de nuestra información o, en cualquier caso, de una parte de ella, en una forma más accesible de la que pueda obtenerse por medio de libros. Por lo visto, eso sólo puede hacerse si sacrificamos el carácter compacto de los libros, por ejemplo, recortando sus páginas y colocando cada una de ellas en un mecanismo de lectura separado. Algunos de los métodos de almacenamiento que están siendo desarrollados en estos momentos no se diferencian excesivamente de esto último». Wittgenstein, por supuesto, había comenzado su primera conferencia sobre la filosofía de las matemáticas imaginando un panorama en el que Turing, cuando se le pedía que señalara una sigma griega en un libro, «recorta el signo que [Wittgenstein] le enseña y lo coloca en el libro»[20]. Sin duda, agregó el filósofo, «tales malentendidos sólo surgen de forma inmensamente esporádica, aunque mis palabras podrían haberse interpretado de cualquiera de las dos formas». Ahora Turing imaginaba páginas de libros recortadas y después insertadas, de forma similar, en «mecanismos de lectura separados». Era como si estuviera empeñado en retar a Wittgenstein, una vez más, imaginando una situación en la que la lógica exigía la misma clase de literalidad de la que Wittgenstein se había burlado.

Pues Turing continuaba siendo tan literal como siempre; tanto, que incorporó una cierta literalidad a su diseño del ACE: «La

máquina interpreta lo que se le dice de una forma muy estricta, sin el menor sentido del humor o de las proporciones. Salvo que al comunicarse con ella uno diga exactamente lo que quiere decir, habrá problemas»[21]. Podría haber estado escribiendo acerca de sus propios atormentados esfuerzos por determinar si otro hombre aceptaría de buen grado una caricia o un beso, si una conversación iba a desembocar en una «noche maravillosa» o en «ser expulsado a patadas de la habitación». Los problemas se producían al cruzarse los canales, idea que Turing exploraría en un ensayo posterior. De momento su meta principal era solicitar que se diese una oportunidad justa a sus máquinas, que no se les buscasen defectos simplemente por el hecho de ser máquinas. Para ilustrar la cuestión, se refirió a su solución del *Entscheidungsproblem*, haciendo notar que de forma necesaria, algunas veces una máquina desarrollada para distinguir fórmulas demostrables de las indemostrables, sería incapaz de proporcionar una respuesta. En contraste, un matemático, cuando se le diese a resolver un problema semejante, «buscaría y hallaría nuevos métodos de demostración, de manera que finalmente fuera capaz de llegar a una decisión acerca de cualquier fórmula dada». Frente a semejante argumento, escribió Turing

> Yo pediría que se jugase limpio con la máquina. En lugar de que en ocasiones ésta no respondiera podríamos hacer que esporádicamente diese respuestas erróneas. El matemático humano también cometería errores cuando probara nuevas técnicas. Para nosotros es fácil ignorar estos errores y darle otra oportunidad, pero con la máquina probablemente no se tendría piedad alguna. En otras palabras, si se espera que una máquina sea infalible, entonces tampoco puede ser además inteligente.[22]

Si Turing no sabía aún lo que significaba que a uno no le mostrasen «piedad alguna», ésa sería, ¡ay!, una lección que muy pronto habría de aprender. De momento, se contentaba con «interceder» para que sus máquinas fueran tratadas con mayor tolerancia de la que él, en tanto que varón homosexual, estaba destinado a conocer:

> Por proseguir mi petición a favor del «juego limpio con las máquinas» a la hora de poner a prueba su coeficiente de inteligencia, un matemático humano siempre pasa por una formación exhaustiva. Esta formación puede considerarse semejante a introducir tablas de instrucciones en una máquina. Por consiguiente, uno no debe esperar que una máquina se haga cargo de una gran acumulación de tablas de instrucciones por sí sola. Ningún hombre aislado añade gran cosa a sus conocimientos. ¿Por qué habríamos de esperar más de una máquina? Por expresar lo mismo de una forma distinta, debe permitirse a la máquina tener contacto con seres humanos a fin de que pueda adaptarse al nivel de éstos. **[23]**

Todo se reducía a una cuestión de soledad. Maurice Pryce, que tenía más idea que Turing de «lo que había que hacer», iba progresando en su carrera. Otros amigos se casaban y tenían hijos, mientras Turing había llegado a convertirse por completo en el «solitario confirmado» que Newman había temido que acabaría por ser. Ahora parecía como si estuviera empeñado en que el ACE —que aun ni siquiera había nacido— tuviese una adolescencia muy distinta de la suya; que disfrutase del «contacto humano» y no se viera sometido a injusticias asentadas en prejuicios. En la conferencia se percibe un claro sentido de identificación con la máquina, además de un cierto afecto protector hacia ella, como si, al no haber hallado un compañero con el que compartir su vida, el ingeniero que llevaba dentro estuviese ahora resuelto a fabricarlo.

3

Las cavilaciones especulativas de Turing acerca del ACE —sobre todo respecto a sus perspectivas de futuro— revelan a veces el mismo tono de paranoia que acompañó gran parte de sus

comportamientos más extraños en Bletchley. Por ejemplo, hacia el final de la conferencia ante la London Mathematical Society, dividió a aquellos a los que consideraba destinados a trabajar «en conexión con el ACE» en señores y servidores, siendo los señores los teóricos que decidían sobre su empleo, y los servidores los técnicos que «lo alimentan con tarjetas a medida que las necesita», manteniéndolo en perfecto estado de funcionamiento y recopilando los datos que precise. A medida que pasara el tiempo, sin embargo, «el propio calculador»[24], esperaba, podría «hacerse cargo de las funciones tanto de señores como de servidores», siendo estos últimos, en particular, «reemplazados por miembros y órganos sensoriales mecánicos y eléctricos». El riesgo, imaginó Turing, era que en virtud de sus mismas capacidades, la máquina llegase a constituir una amenaza para los seres humanos, que a su vez acabarían conspirando contra ella (y quizá, por extensión, contra su inventor), situación no muy distinta de aquella en la que se ve inmerso Sidney Stratton en *El hombre del traje blanco*. Sin embargo, la máquina, hasta el momento, sólo existía como informe: al profetizarle un futuro tan oscuro y «peligroso», Turing no sólo se saltaba la etapa de su construcción, puesta a prueba e instalación: daba por supuesto su éxito total. También ponía la posibilidad de su peligrosidad en las cabezas de esos mismos oyentes cuyas ansiedades se suponía que trataba de mitigar.

El problema no residía en que careciera del conocimiento técnico necesario para diseñar una computadora; al contrario, el informe presenta una batería asombrosamente detallada de especificaciones para el diseño del ACE. El problema estaba en que, al carecer de la mano izquierda de Maurice Pryce para las relaciones sociales, Turing era propenso a minar sus propias posibilidades de obtener apoyo al dejar que los altos vuelos de su imaginación fueran más fuertes que él. Como siempre, dijo exactamente lo que creía y arrostró las consecuencias. Por ejemplo, en su conferencia ante la London Mathematical Society, sostuvo que era mucho más decisivo que el ACE fuera digital que electrónico. «Desde luego, es importante que sea electrónico[25] —le dijo a sus oyentes— porque a ello le deben estas máquinas su alta velocidad, y sin ella es dudoso que quepa esperar apoyo financiero para su construcción. Sin embargo, eso es prácticamente todo lo que hay

que decir al respecto». La velocidad, por supuesto, había sido la razón de ser del ENAC, en tanto que el ACE, con un millón de pulsaciones por segundo, prometía ser la máquina más veloz jamás construida. Y no obstante, de creer a Turing, el único motivo por el que estaba procurando que el ACE fuese veloz era para aplacar a los ricachones de cuya generosidad dependía su desarrollo. Que hubiese adoptado un tono tan condescendiente no sólo hacia la misma gente a la que necesitaba para hacer realidad el ACE, sino hacia el mismo ideal de la velocidad era de lo más estrafalario, teniendo en cuenta los años que había pasado en Bletchley intentando ser más veloz que los alemanes. Ninguna otra experiencia podría haber hecho más consciente a Turing del auténtico valor de una máquina rápida que los largos días que había pasado tratando de descifrar mensajes de la Enigma naval a tiempo para impedir los ataques de los submarinos alemanes.

Tanto el ENIAC como el EDVAC eran también máquinas digitales. El ENIAC, sin embargo, realizaba sus cálculos por medio de la notación decimal, frente a la binaria, lo cual empantanaba el proceso, en tanto que el EDVAC hacía hincapié en su aspecto de procesador de datos numéricos.[2*] Puesto que Turing, por el contrario, imaginaba que el ACE sería empleado para muchas actividades que no requerían el procesamiento de datos numéricos, lo diseñó de forma que fuera más bien minimalista, haciendo hincapié en la programación: en la jerga moderna, sobre el *software* antes que el *hardware*. En efecto, entre las muchas tareas posibles para las que podría ser empleado el ACE, en su informe Turing enumeró una de interés para los militares («Construcción de tablas de tiro»[26]); otra relativa a las matemáticas puras («Dadas dos matrices cuyos coeficientes sean polinomios de grado inferior a diez, la máquina podría multiplicar las matrices entre sí, lo que daría como resultado otra matriz que también tuviera coeficientes de polinomios»); otra de interés para los ingenieros («Dado un circuito eléctrico complicado y las características de sus componentes, podría calcularse la respuesta a unas determinadas señales») y una de interés para los gobiernos municipales («Para contar el número de carniceros que van a ser desmovilizados en junio de 1946 a partir de tarjetas preparadas a partir de los archivos militares»). También enumeró una función que sería de interés para

los niños (resolver un rompecabezas) y una de interés para sí mismo (jugar al ajedrez). La naturaleza del ACE significaba que «podía encargársele la realización de cualquier tarea que pudiese realizar un computador humano y… de forma unas diez mil veces más rápida»[27]. Y en gran medida, ello se debía a que la máquina era tan asombrosamente sencilla y empleaba sólo el vocabulario simbólico más elemental: «Para realizar las diversas operaciones lógicas dígito a dígito, bastará con hacer "y", "o", "no", "si y sólo si" (en símbolos A & B, $A \vee B$, $\sim A$, $A \equiv B$, F)»[28]. Una aritmética más complicada —incluyendo las sumas y las restas— formaría parte de la programación, lo cual volvería a diferenciarlo del EDVAC, en el cual la aritmética se realizaba por medio de la introducción de números en el acumulador de la máquina.

El carácter digital del ACE, sin embargo, no bastaba para garantizar su éxito. También era decisiva la puesta en marcha de un sistema de almacenamiento eficiente. Durante su conferencia, Turing enumeró los tres tipos de almacenamiento que en su opinión convendrían mejor a una máquina como el ACE: cable magnético, tubos de rayos catódicos y líneas de retardo acústico[29]. Los tubos de rayo catódicos, o incluso los iconoscopios del tipo empleado en los televisores, eran, en su opinión, «el [esquema] más prometedor con diferencia, porque combinaban simplicidad con rapidez»[30]. Pero todavía no estaban ampliamente disponibles en Inglaterra, de manera que optó por las líneas de retardo, que le garantizaban al ACE la amplia memoria que necesitaría si había de ser independiente. El sentido final de tener una gran memoria era permitir a los operadores de la computadora —los servidores— olvidarse de los aspectos más tediosos de la programación, de los que se ocuparía la propia máquina.

La claridad y la concisión eran de primordial importancia para los servidores, que, cabe suponer, harían funcionar la máquina pese a desconocer su ingeniería: «Debería ser posible describirle las instrucciones al operario en el lenguaje cotidiano —escribió Turing — en el espacio de una novela de tamaño medio»[31]. Y el lenguaje, en efecto, para bien de los servidores, era sencillo, si bien un poco morboso. Las tablas subsidiarias se guardaban, por ejemplo, «enterrándolas», tarea que se lograba mediante el empleo de una «tabla de instrucciones estándar BURY»[32]; de forma

semejante, uno buscaba las tablas «desenterrándolas» por medio del empleo de «la tabla UNBURY»[3*]. No es que los servidores pudiesen crear estas prototablas; en su lugar, éstas «tenían que ser inventadas por matemáticos con experiencia en computación y quizás una cierta habilidad para resolver enigmas… El proceso de construcción de tablas e instrucciones debería resultar de lo más fascinante. No debería existir el menor peligro de que llegase a convertirse jamás en un trabajo de esclavos, pues todos los procesos fundamentalmente mecánicos deberían ser asignados a la propia máquina»[33].

Se trataba de un panorama similar al de Bletchley, donde los ganadores de los concursos de crucigramas desentrañaban la teoría en su Caseta, mientras, en otra, servidoras tipo Wren realizaban las tareas cotidianas que exigía el funcionamiento y el mantenimiento de la amada criatura: la máquina[4*]. Lo que permanecía sin especificar era el papel que habría de desempeñar Turing en tanto que inventor, padre y amante de la misma.

4

Turing terminó el informe sobre el ACE en 1945 y se lo entregó a Womersley, quien lo presentó ante el comité ejecutivo del Nacional Physics Laboratory el 19 de marzo de 1946. El creador del ACE también habló ante los congregados. Su presentación no cayó excesivamente bien; Darwin, en particular, no parecía «captar el concepto de universalidad»[35], y Turing desorientó a muchos miembros del comité al permitir que su charla se volviera demasiado técnica. No obstante, finalmente Darwin recomendó que a Turing se le asignasen diez mil libras esterlinas para la construcción de una versión menor del ACE, un «ACE piloto». De haber obtenido la plena confianza del comité, probablemente hubiera obtenido más dinero, pero un ACE piloto era mejor que ninguno, y, en consecuencia, se estableció en Teddington y puso

manos a la obra.

Se trataba de un momento de transición no sólo para él sino también para Inglaterra. Sí, la guerra había terminado, pero ¿qué vendría después? ¿Y qué encerraría el futuro para Alan Turing, cuya enorme contribución al esfuerzo realizado en Bletchley seguía (y cabía suponer que así seguiría siendo durante años) siendo un secreto oficial? En Teddington eran pocos los que tenían la menor pista de lo mucho que le debían, situación que no hacía más que intensificar su sensación de llevar una existencia solitaria y cifrada. En Bletchley se había aficionado a correr largas distancias. Ahora se había hecho miembro del Walton Athletic Club, cuyos socios, como indicó la señora Turing en sus memorias, «comprendían a hombres de todas las profesiones y condiciones sociales —barrenderos, hijos de clérigos, dentistas, empleados y así sucesivamente— entre los cuales siempre se encontraba a sus anchas y a los que a su vez hacía sentirse del mismo modo»[36]. A modo de entrenamiento, con frecuencia solía recorrer los veintiocho kilómetros que separaban Hampton-on-Thames, donde residía en una casa de huéspedes llamada Ivy House, de la casa de su madre en Guildford. Igualmente, cuando necesitaba ir a los laboratorios de la oficina de Correos en Dollis Hill, recorría a la carrera los veintidós kilómetros, generalmente vistiendo unos viejos pantalones de franela sujetos a la cintura por una cuerda.

Quizá gracias a su independencia del esfuerzo bélico, en Teddington el ambiente era más burocrático y menos propenso a alentar las colaboraciones que en Bletchley, con una clara división entre ingenieros y teóricos. Se esperaba que Turing funcionara como un generador de ideas y dejase la construcción en manos de los ingenieros. En un principio, el NPL se preocupó de publicitar al apoyo que le prestaba. En una entrevista en la BBC, Darwin pintó a Turing como una especie de niño prodigio (a pesar de andar ya por los treinta y tantos), explicando que «hace unos doce años un joven matemático de Cambridge, de apellido Turing, escribió un artículo aparecido en una de las publicaciones matemáticas, en el cual determinaba, por medio de principios estrictamente lógicos, hasta qué punto podía imaginarse una máquina que imitase los procesos del pensamiento»[37]. A partir de aquella misteriosa publicación, daba a entender Darwin, había despuntado la posibilidad de un

milagro tecnológico del que se beneficiarían los ingleses de a pie. Como no podía ser menos, semejante mitología atrajo inmensamente a la prensa popular, en particular la sensacionalista, que pronto comenzó a perseguir a Turing para solicitar entrevistas. Su madre recordaba un «vespertino»[38] que llegó al extremo de «encabezar un breve párrafo acerca de Alan con las palabras "atleta electrónico"». La prensa solía hacer hincapié en las asombrosas «hazañas» que el nuevo «cerebro electrónico» sería capaz de llevar a cabo, en particular prodigios de memoria capaces de igualar a las de cualquier fenómeno de los teatros de variedades. Por ejemplo, el *Surrey Comet* afirmó que Turing había dicho que el ACE «podría memorizar fácilmente unas diez páginas de una novela, aunque, por supuesto, no en su forma habitual. Tendrían que traducirse a un medio que fuera capaz de "comprender", en otras palabras, a las cifras que está diseñado para manejar»[39]. Asimismo, el ACE —al menos en teoría— sería capaz de disputar una partida decente de ajedrez, aunque saber si alguna vez podría desarrollar el «discernimiento»[40] necesario para jugar a un nivel alto «seguía siendo algo que tendrían que juzgar los filósofos antes que los científicos».

A pesar de que el «cerebro electrónico» fuera el niño mimado del *Daily Telegraph*, en el NPL comenzaban a estar un poco preocupados. Desde que se conoció la noticia del ENIAC, los norteamericanos y los británicos habían estado compartiendo información de forma exhaustiva. Womersley viajó a Estados Unidos, como también lo hizo el propio Turing. Es más, la influencia de Von Neumann había empezado a hacerse sentir: si el EDVAC representaba la dirección que habría de seguir la investigación informática, ¿sería imprudente por parte de los británicos seguir la corazonada de Turing y planificar de cara a una máquina de tipo tan distinto? ¿Acabarían por quedarse atrasados? ¿O debería la NPL cubrirse las espaldas? En particular, Maurice V. Wilkes, antiguo compañero de clase de Turing y actual director del Mathematical Laboratory de Cambridge, había asistido a una serie de conferencias en Filadelfia en el verano de 1946, patrocinadas por el grupo de Moore School que había montado el ENIAC. Emocionado por lo que había aprendido, Wilkes regresó, deseoso de dar comienzo al trabajo de construcción de una versión británica

del EDVAC. Aunque la intención de Wilkes era que el proyecto estuviera radicado en Cambridge, buscó la cooperación del NPL para preparar un plan para una máquina que tenía una semejanza mucho mayor con el EDVAC que con el ACE. Como para subrayar la semejanza, la computadora de Wilkes habría de llamarse el EDSAC —*electronic delay storage automatic Computer*— y muy pronto obtuvo tanto la aprobación como la atención del NPL. [5*] El ACE de Turing podía fascinar a la prensa popular, pero no estaba en línea con la corriente dominante. Además, el coste proyectado se estaba disparando.

En parte, el problema, una vez más, era la absoluta indiferencia de Turing por las convenciones. A pesar de que la prensa le otorgase el papel de una especie de Chatterton del mundo de la informática —un «chico milagroso»— sus pares sabían a qué atenerse: los ingleses de pro no se sujetan los pantalones con cuerdas. Ni van corriendo a las reuniones en Dollis Hill. Su insistencia en hacer las cosas a su manera era característica; ahora, sin embargo, le estaba pidiendo a Inglaterra que le siguiera ciegamente. E Inglaterra rehusó.

En un principio pareció que el NPL iba a apoyar por igual ambos proyectos —a fin de cuentas, Wilkes ya estaba financiado por Cambridge— y cuando se completó el informe acerca del EDSAC propuesto, Womersley se ocupó de pedirle a Turing que lo leyera y le diera su opinión. A Turing no le impresionó en exceso. «He leído la propuesta de Wilkes para una máquina piloto» [41], le escribió a Womersley el 10 de diciembre, «y estoy de acuerdo con él en lo referente a lo deseable que sería alguna máquina semejante en alguna parte… El "código" que propone, sin embargo, se opone por completo a la línea de investigación seguida aquí, y está mucho más en la línea de la tradición estadounidense de resolver las dificultades a base de poner más medios en lugar de pensando». Sin duda, Turing esperaba poder asegurarse el apoyo continuado del NPL apelando al orgullo nacionalista. Por desgracia, su tendencia a irse de la lengua en el transcurso de las entrevistas empezaba a convertirse en una fuente de incomodidades para la junta del laboratorio. Womersley sugirió que, en lugar de hablar con los informadores, Turing diese una serie de conferencias sobre el ACE «pensadas primordialmente para quienes tendrán que ocuparse del

desarrollo técnico de la máquina»[42]. Como cabía esperar, Wilkes, que asistió a las conferencias, se quejó de que Turing era «muy dogmático»[43] y que sus ideas «disentían ampliamente de… la corriente principal en el desarrollo de la informática».

En efecto, así era, y sigue siendo así. En la actualidad la mayoría de computadoras que utilizamos se remontan al EDVAC y no al ACE, que finalmente nunca llegó a construirse. A pesar de que las «ideas minimalistas»[44] de Turing estaban, en palabras de Martin Davis, «destinadas a tener poca o ninguna influencia sobre el desarrollo de las computadoras», su legado todavía se deja sentir en la microprogramación, «que permite que el programador disponga directamente de las operaciones informáticas más básicas»; en el advenimiento del microprocesador de silicio, que es, de hecho, una máquina universal en un chip; y en la «llamada arquitectura RISC» (*reduced instruction set computing*), «la cual utiliza un conjunto de instrucciones mínimas en un chip, la funcionalidad necesaria del cual sería proporcionada por la programación». Todos ellos deben mucho al ACE.

La parte más triste de la historia, al menos desde el punto de vista de Davis, es la medida en que, durante años, Turing fue eliminado de la historia de la disciplina que él en realidad inventó. Aunque el ACE piloto, por ejemplo, sobrevivió, hacía mucho tiempo que Turing ya había dejado Teddington en el momento en que fue construido, y a aquellas alturas había sido rediseñado tantas veces que presentaba escasa semejanza con la máquina con la que aquél había soñado. Más cruel aún, un informe de 1949 afirmaba que «el tamaño efectivo del ACE, tal como originariamente estaba previsto, fue el resultado de largas discusiones entre el señor Womersley y el profesor Von Neumann durante la visita del primero a Estados Unidos»[45]. De acuerdo con los principios del evolucionismo abrazados por el abuelo de sir Charles Darwin, quizá resultara inevitable que el taciturno Turing se viera arrinconado por la energía del desenvuelto Johnny von Neumann. En efecto, en fecha tan tardía como 1987, informa Davis, cuando publicó un artículo que sostenía que Turing había sido la fuente de muchas de las ideas de Von Neumann, se sintió «muy solo»[46] defendiendo semejante parecer. Por ello Davis se sintió ampliamente gratificado cuando, doce años más tarde, la revista *Time* no sólo nombró a Turing uno

de los veinte mayores científicos del siglo XX, sino que en su descripción de Von Neumann (que también figuraba en la lista) escribió:

> Prácticamente todos las computadoras de hoy, desde las supercomputadoras de diez millones de dólares hasta los minúsculos chips que hacen funcionar los teléfonos móviles y Furbies [6*] tienen una cosa en común: todos son «máquinas Von Neumann», variaciones sobre la arquitectura informática básica que John von Neumann, construyendo sobre la obra de Alan Turing, estableció durante la década de 1940. [47]

5

Para Turing, la década de 1940 fue una época definida más por lo que inició que por aquello que llegó a culminar. Se le ocurrían ideas, se lanzaba en pos de ellas y, entonces, antes de llevarlas a buen término, se iba dispersando, bien porque las circunstancias le obligaban a ello o porque alguna otra idea había captado su atención. Así pues, cuando Don Bayley presentó una versión operativa de Delilah ante el *Cipher Policy Board* (Junta de Política de Cifrado) en 1945, Turing ya había abandonado el proyecto, trasladándose a Teddington y pasando a centrar sus esfuerzos en el ACE. De igual forma, había abandonado Teddington hacia la época en que se probó el ACE piloto. En Bletchley, cuando sus colegas hablaban de lo que pensaban hacer una vez terminada la guerra, él siempre decía que pensaba reanudar su condición de miembro del King's College. El 30 de septiembre de 1947 eso fue exactamente lo que hizo. Oficialmente estaba de sabático —la idea era que en Cambridge realizaría labores teóricas que más tarde podría aplicar al ACE—, pero de hecho tanto él como Darwin probablemente sabían que jamás regresaría al NPL.

De acuerdo con la señora Turing, su hijo se escapó a Cambridge

porque «estaba desilusionado con lo que a él se le antojaba el lento progreso realizado en la construcción del ACE y convencido de que estaba perdiendo el tiempo, ya que no se le permitía aventurarse en la ingeniería del mismo»[48]. Para él resultó un alivio volver a encontrarse en la intelectual y tolerante Cambridge, donde podía volver a trabajar como a él le gustaba. Otro plus era que ahora Robin Gandy estaba en Cambridge, donde se había convertido en miembro de los Apóstoles. Una vez más, Turing no fue elegido miembro de esta sociedad, que tanta consideración le había merecido a Forster, y acerca de la cual había escrito prolijamente en *El más largo viaje*. No obstante, sí se unió al Ten Club (lectura de obras teatrales), al Moral Science Club y al Hare and Hounds Club, bajo los auspicios del cual pudo seguir practicando su afición a correr. También se embarcó en una relación con Neville Johnson, alumno de matemáticas de tercer año, la cual duraría varios años. Una vez más, no se trataba tanto de una historia amorosa como de una «amistad con consecuencias».

Hasta cierto punto, en Cambridge Turing pudo retomar las cosas donde las había dejado, como si los años de la guerra jamás hubiesen tenido lugar, y en 1948 publicó dos artículos en publicaciones matemáticas: «Rounding off errors in Matrix Processes», en el *Quarterly Journal of Mechanical and Applied Mathematics* y «Practical Forms of Type Theory» en el *Journal of Symbolic Logic* de Church. También jugó al ajedrez con el economista Arthur Pigou, que recordaría que su adversario «no era un jugador especialmente bueno sentado ante el tablero, pero tenía buenos poderes de visualización, y en los paseos que daban juntos, él y un amigo de Oxford solían disputar partidas con sólo nombrar las jugadas. Esto, desde el punto de vista de un maestro de ajedrez, es una bagatela… pero para nosotros, humildes ajedrecistas táctiles y visuales, resultaba impresionante»[49]. De acuerdo con Pigou, a Turing «le interesaban muchas otras cosas» además de las matemáticas, «y asistía gallardamente a conferencias sobre psicología y fisiología a una edad en la que la mayoría de nosotros ya no éramos capaces de permanecer sentados en un duro banco escuchando hablar a otro».

Otra amistad importante forjada durante el sabático fue la que trabó con Peter Matthews, en aquel entonces en su segundo año de

exámenes en ciencias naturales, con quien Turing debatió la relación existente entre la fisiología y las matemáticas. Turing le mostró a Matthews «las similitudes entre los motores de computación y los cerebros»[50], comparación que Matthews encontró «muy útil». De forma muy oportuna, el 22 de enero de 1948, Turing daba una charla ante el *Moral Science Club* acerca de «Problemas de los robots».

La mayor parte del año que estuvo en Cambridge, sin embargo, Turing lo pasó tratando de decidir qué hacer consigo una vez finalizara el mismo. Una opción era permanecer en King's, reanudar su profesión de matemático puro interrumpida por la guerra, y permanecer a la espera de obtener un puesto docente. Otra era regresar al NPL —como se suponía oficialmente que había de hacer — y continuar trabajando en el ACE. Una tercera (y para él quizá fuera ésta la alternativa más atractiva), era aceptar un cargo docente en la Universidad de Manchester, donde desde 1946 se encontraba Max Newman como titular de la cátedra F de Matemáticas Puras. Sobre la base del trabajo realizado con el Colossus, Newman estaba colaborando con el ingeniero eléctrico F. C. Williams en el desarrollo de un ordenador que rivalizase con el EDSAC. Trabajando con Tom Kilburn, Williams había desarrollado un sistema de almacenamiento basado en el tubo de rayos catódicos que estaba resultando mucho más eficiente, flexible y fiable que las líneas de retardo de mercurio del EDSAC. El tubo Williams-Kilburn, como terminó llamándose, mostraba la información en forma de patrones de puntos y permitió el primer empleo auténtico de la memoria de acceso aleatorio (RAM) en la historia del diseño de las computadoras. Williams recordaría más tarde (de forma un tanto imprecisa, pues en aquel momento Turing aún no se había sumado al proyecto):

> Con tanto almacenamiento disponible, el paso siguiente era construir una computadora a su alrededor. Tom Kilburn y yo no sabíamos nada de ordenadores, pero sabíamos mucho de circuitos. El profesor Newman y el señor A. M. Turing… sabían mucho de ordenadores y prácticamente nada de electrónica. Nos llevaron de la mano y nos explicaron cómo los números podían

> habitar casas con direcciones y cómo, de ser así, se les podía seguir la pista en el transcurso de un cálculo. [51]

El plan de Newman, tal y como lo expuso en una carta dirigida a Von Neumann, era el de una máquina que pudiese abordar «problemas matemáticos de un tipo completamente diferente de aquellos de los que hasta la fecha se han ocupado las máquinas… por ejemplo, poner a prueba (digamos) el teorema de los cuatro colores, [7*] o varios teoremas retículas, grupos, etc…» [52]. En un plano filosófico, la clase de investigación en la que estaba pensando era más próxima a los intereses de Turing que la actitud de velocidad-por-la-velocidad que regía el ENIAC. Tampoco el dinero suponía problema alguno: Newman tenía una ayuda de la *Royal Society* por valor de veinte mil libras esterlinas al año para cubrir los gastos de la construcción, más tres mil libras esterlinas al año durante cinco años.

Se estaba haciendo cada vez más evidente en Manchester que la estrategia del NPL de mantener una rígida división entre los aspectos del desarrollo de la computadora relativos a la ingeniería y los relativos a la matemática estaba destinada a revelarse como totalmente contraproducente; la sinergia intelectual dependía no sólo de que se permitiera compartir ideas sino también de reconocer que las barreras levantadas por el NPL eran completamente arbitrarias. Tampoco era éste un punto de vista exclusivo de Manchester. En Cambridge, Wilkes seguía adelante con el EDSAC, en un entorno marcado también por la colaboración entre la ingeniería y las matemáticas. También disponía de dinero propio.

Parece probable que Wilkes y Turing desconfiaran el uno del otro. Aunque el laboratorio de Wilkes se encontraba a sólo unos minutos del King's College, durante meses Turing evitó ir a visitar a éste allí. Cuando finalmente acudió, lo único que acertó a decir después fue que Wilkes tenía aspecto de escarabajo [53]. Y no obstante, si Turing tenía celos de Wilkes, estaba completamente en su derecho. Wilkes no sólo se hallaba en una posición más segura —además de beneficiarse del apoyo de la universidad— sino que gozaba también de la confianza del NPL, donde Womersley estaba cada vez más desencantado con el diseño heterodoxo y minimalista de Turing. Temeroso, con razón, de que el NPL acabase quedándose

atrás una vez más, Womersley llevó a cabo averiguaciones relativas al progreso de la computadora de Manchester a la vez que simultáneamente proponía a Darwin que el equipo del NPL «utilice todo lo posible el trabajo de Wilkes en la medida en que sea coherente con nuestro propio sistema de programación»[54] para poner a punto el ACE. Muy pronto casi todo lo que hacía única a aquella máquina, y exclusivamente de Turing, quedaría eliminado del diseño de la misma, a medida que el ACE era normalizado y sometido a los parámetros de la industria.

Como era de esperar, finalmente Turing decidió ir a Manchester. Newman quería que estuviera allí y le prometió que tendría oportunidad de dedicarse a la clase de investigación original que la cultura del NPL desalentaba sutilmente. Más importante, participaría desde el principio en el desarrollo de una máquina cuya construcción iba a hacerse efectiva, y en un ambiente decididamente más simpático que el de Teddington. En mayo de 1948, por consiguiente, Turing dimitió del NPL, lo que irritó a Darwin, que se lo tomó como si Newman le hubiese robado a su niño prodigio. (A Darwin no parece habérsele ocurrido que era más bien poco lo que había hecho para lograr que el niño prodigio quisiera quedarse). Antes de empezar a desempeñar su nuevo puesto, sin embargo, Turing escribió un último informe para el NPL. Se titulaba «Maquinaria inteligente», y con el tiempo resultó ser uno de los documentos más asombrosos, subversivos incluso, de la historia de la ciencia informática.

6

Como muchos de los artículos posteriores de Turing, «Maquinaria inteligente» mezcla análisis técnicos a ultranza con pasajes de especulación filosófica, en ocasiones fantasiosa. El núcleo del artículo es una discusión de la posibilidad de que «se pueda conseguir que la maquinaria tenga un comportamiento inteligente»[55]. Antes de profundizar en el debate, sin embargo,

Turing ofrece una lista de lo que él considera las cinco objeciones más probables que se le pudieran hacer: «la resistencia a admitir que el género humano pueda tener rivales en capacidad intelectual»[56], «la creencia religiosa de que cualquier intento de construir tales máquinas pasa por ser una especie de irreverencia prometeica»; «el carácter muy limitado de la maquinaria empleada hasta fecha reciente (digamos, hasta 1940)», lo cual «ha alentado la creencia de que las máquinas están necesariamente limitadas a realizar tareas extremadamente sencillas, quizás incluso repetitivas»; el descubrimiento por parte de Gödel y Turing, de que «cualquier máquina, en algunas ocasiones, será incapaz de proporcionar respuesta alguna», en tanto que «la inteligencia humana parece capaz de hallar métodos de una potencia cada vez mayor para lidiar con tales problemas, "trascendiendo" los métodos accesibles a las máquinas»; y por último, la idea de que «en la medida en que la máquina es capaz de dar pruebas de inteligencia, ello ha de considerarse sólo como un reflejo de la inteligencia de su creador».

La estrategia de Turing, consistente en comenzar con un resumen de las alegaciones en contra, prefigura los manifiestos a favor de los derechos de los homosexuales de los años cincuenta y sesenta, que a menudo empleaban la refutación de los argumentos tradicionales en contra de la homosexualidad como marco para la defensa de ésta. Desde un principio reconoce la inutilidad de tratar de convencer a un fanático de que renuncie a su fanatismo, señalando que las dos primeras objeciones, «al ser puramente emocionales, en realidad no requieren refutación. Si se considera necesario refutarlas, no es mucho lo que uno pueda decir que tenga posibilidades de convencer, aunque es probable que la construcción de las máquinas en cuestión no dejará de tener sus efectos»[57]. La tercera objeción la despacha indicando que máquinas existentes, como el ENIAC o el ACE «son capaces de lidiar con cifras inmensas (por ejemplo, en torno a 10^{60000} para el ACE) de operaciones sin repeticiones»[58], en tanto que prescinde de la cuarta reiterando una observación realizada durante su conferencia ante la London Mathematical Society, según la cual la infalibilidad no es «necesariamente un requisito de la inteligencia», idea que subraya recurriendo a una anécdota sacada de la vida de Gauss:

> Se dice que de niño, en la escuela, le pidieron a Gauss que efectuase la suma 15 + 18 + 21 + … + 54 (o algo por el estilo) y que escribió de inmediato 483, cabe suponer que habiendo calculado la suma como (15 + 24) (54 - 12)/2,3.[8*] Imaginémonos unas circunstancias en las que un maestro insensato le dijera al niño que tendría que haber sumado 18 a 15 para obtener 33, y luego añadir 21, etc. Desde algunos puntos de vista, eso constituiría un «error», a pesar de la evidente talla del intelecto involucrado. También cabe imaginar una situación en la que al niño se le diera cierta cantidad de sumas a resolver, de las cuales las cinco primeras fueran todas progresiones aritméticas, pero la sexta fuera, digamos, 23 + 34 + 45 + … + 100 + 112 + 122 + … + 199. Gauss podría haber respondido como si también se tratara de una progresión aritmética, sin fijarse en que el 9.º término era 112 en lugar de 111. Sería una equivocación manifiesta, que niños menos inteligentes probablemente no habrían cometido.[59]

La educabilidad, pues, es el principal ingrediente de la inteligencia, lo cual significa que para ser consideradas inteligentes, las máquinas tienen que demostrar que son capaces de *aprender*. La cuarta objeción —«que la inteligencia de la máquina no es sino un reflejo de la de su creador[60]»— puede por ello ser rebatida al reconocer su equivalencia con la frase «el mérito de los descubrimientos de un discípulo debe acordársele al maestro. En una situación semejante, el maestro se sentiría complacido con el éxito de sus métodos de enseñanza, pero no reivindicaría para sí los resultados a menos que él se los hubiese comunicado al discípulo»[61]. Del alumno, por otra parte, sólo puede decirse que da muestras de inteligencia una vez que ha ido más allá de la mera imitación del maestro y hecho algo a la vez sorprendente y original, como hizo el niño Gauss. Pero ¿qué clase de máquina sería capaz de aprender en esta acepción de la palabra?

Como respuesta a esta pregunta, Turing empieza por dividir las máquinas en categorías. Una máquina «discreta», de acuerdo con su

definición, es aquella cuyos estados pueden ser descritos como un conjunto discreto; semejante máquina funciona pasando de un estado a otro. En la maquinaria «continua», por otra parte, los estados «forman una superficie continua, y el comportamiento de la máquina se describe mediante una curva sobre esta superficie»[62]. Una máquina «"controladora" sólo trata con información», en tanto que con una «máquina "activa" se pretende producir un efecto continuo bien determinado»[63]. Un *bulldozer* es una máquina «continua activa», del mismo modo que un teléfono es una máquina «continua controladora». El ENIAC y el ACE, en contraste, son «de control discreto»[64], en tanto que un cerebro es «un controlador continuo… pero muy semejante a muchas máquinas discretas». Aunque las máquinas «controladoras discretas» son las que tienen mayores probabilidades de dar muestras de inteligencia, «los cerebros por muy poco no encajan en esta clase, y hay razones para pensar que se les podría haber hecho encajar perfectamente en ella sin cambiar ninguna de sus propiedades esenciales». Semejante clasificación del cerebro como máquina neurológica invierte de forma nítida la concepción popular de la computadora como cerebro electrónico, al igual que el sutil empleo por parte de Turing de la pasiva «podría haber hecho» evidencia la tácita agenda anticristiana del informe, convirtiendo a Dios en inventor o programador, cuyo fracaso en lograr que los cerebros fueran «controladores discretos» fue más o menos accidental. De haber sido un poco más espabilado, insinúa Turing, Dios habría diseñado mejor el cerebro[9*].

En efecto, a aquellas alturas del informe, uno comienza a tener la impresión de que la ambición de Turing es tanto bajar a la humanidad de su pedestal como abogar en defensa de la inteligencia de las máquinas. Lo que parece fastidiarle, aquí y en otras partes, es la tendencia automática del intelectual a otorgarle a la mente humana, simplemente en virtud de su carácter humano, una especie de supremacía. Incluso la ciencia de la robótica, de la que habló en Cambridge ante el Moral Science Club, es objeto de una cierta burla debido a su insistencia en diseñar máquinas que se parezcan a seres humanos:

> Una gran razón positiva para creer en la posibilidad de

> fabricar maquinaria pensante es el hecho de que sea posible lograr que la maquinaria imite cualquier fragmento de un hombre. Que el micrófono hace esto último para el oído, y la cámara de televisión para la vista son lugares comunes. También puede uno producir robots controlados por control remoto cuyos miembros equilibren el cuerpo con ayuda de servomecanismos… Podríamos producir modelos eléctricos relativamente precisos para copiar el comportamiento de los nervios, aunque no acaba de verse cuál sería su interés. Sería como invertir un montón de trabajo en conseguir unos coches que caminaran sobre piernas en lugar de continuar utilizando ruedas. **[65]**

Y sin embargo, si uno «tomase al hombre en conjunto y tratase de sustituir todas sus partes por maquinaria» **[66]**, ¿qué aspecto tendría el resultado? El de un monstruo de Frankenstein de nuestros días, a juzgar por la descripción y el panorama que siguen:

> Éste incluiría cámaras de televisión, micrófonos, altavoces, ruedas y «mecanismos de manejo por servo-dirección», así como alguna clase de «cerebro electrónico»… El objeto, si fuera producido mediante las técnicas actuales, sería de un tamaño inmenso, incluso si la parte del «cerebro» fuera estacionaria y controlase el cuerpo a distancia. A fin de que la máquina tuviese la oportunidad de descubrir cosas por sí misma, debería permitírsele vagar por el campo, y el peligro para el ciudadano común sería grave. Es más, incluso si se proporcionasen las prestaciones arriba mencionadas, la criatura seguiría sin tener contacto alguno con la comida, el sexo, el deporte y muchas otras facetas de la vida que interesan a los seres humanos. Así pues, aunque este método probablemente sea el modo «seguro» de producir una máquina pensante, en conjunto, parece demasiado lento y poco práctico.

Quizá fuera mejor diseñar el tipo de máquina que agradase a otra máquina: un cerebro sin cuerpo, dotado como máximo de órganos que le permitiesen ver, hablar y oír. Pero ¿qué podría hacer una máquina semejante? Turing enumera cinco posibles aplicaciones[67]. Podría jugar a determinados juegos (ajedrez, *bridge*, póquer, etc.), podría aprender idiomas, podría traducirlos, podría encriptar y desencriptar, y podría realizar cálculos matemáticos.

De hecho, a lo largo de los años, las computadoras se han mostrado notoriamente resistentes al aprendizaje de idiomas. Por otra parte, pueden dárseles muy bien los juegos, la criptografía y las matemáticas, la poesía, por así decirlo, de su idioma. Para que realicen por propia voluntad estas actividades, sin embargo —si han de jugar (y ganar) al tres en raya, generar un código indescifrable o calcular los ceros de la función zeta— han de ser instruidos. ¿Y quién ha de enseñarles? ¿Cuáles serán los métodos a través de los que los «maestros» programarán en ellas la capacidad de aprender? La respuesta que Turing da a esta pregunta (que es en realidad la cuestión central de «Maquinaria inteligente») dice tanto acerca de su propia educación como de su tendencia a pensar en el ACE como en una criatura (una criatura británica, por más señas):

> La formación de una criatura humana depende en gran medida de un sistema de recompensas y castigos, y eso induce a pensar que ésta debería ser posible con sólo dos entradas, una para el «placer» o las «recompensas» (**R**), y otra para el «dolor» o los «castigos» (**P**). Puede idearse un gran número de tales sistemas de «placer-dolor»… la interferencia del placer tiene tendencia a fijar el carácter, esto es, a impedir que cambie, mientras que los estímulos dolorosos tienden a perturbarlo, haciendo que los rasgos que habían llegado a fijarse cambien o se vean sujetos de nuevo a variaciones aleatorias.[68]

Esta teoría más bien draconiana sobre la educación de los niños hace pensar en qué medida Turing había interiorizado el espíritu del lema «La letra con sangre entra», tan preponderante en la

Inglaterra de la época, y ante una versión del cual caería víctima en el plazo de unos pocos años. Quizás había adquirido los rudimentos de la misma en las clases de psicología a las que había asistido como oyente durante su sabático en el King's. O quizá simplemente estuviese recapitulando los principios educativos de Sherborne y los demás *public schools* ingleses.

> Si la mente sin formar del niño ha de volverse inteligente, ha de adquirir tanto disciplina como iniciativa. Hasta ahora sólo hemos considerado la disciplina… Pero en sí misma la disciplina indudablemente no basta para producir inteligencia. Lo que se requiere de más se llama iniciativa. Esta afirmación tendrá que hacer aquí las veces de definición. Nuestra tarea es descubrir la naturaleza de este residuo tal como se produce en el hombre, y tratar de copiarlo en las máquinas. **[69]**

Disciplina e iniciativa: aquí Turing parece un director de escuela arengando al alumnado a comienzos del curso escolar. Al fondo casi puede uno oír la nana de la duquesa de *Alicia en el país de las maravillas*, de Lewis Carroll. La diferencia está en que el *Manual Turing sobre cómo criar a una computadora* requiere no sólo azotarla cuando estornude, sino también suministrarle la pimienta para que lo haga. En los sistemas experimentales «placer-dolor» que esboza, por ejemplo, la pimienta aparece en forma de una secuencia aleatoria de números a los que se requiere que la computadora responda de cierta forma mediante una tabla de comportamientos. Lo que Turing denomina «placer» y «dolor» son, de hecho, meras instrucciones para la ejecución de operaciones aritméticas, en las que el estímulo doloroso cancela todas los instrucciones provisionales y el estímulo del placer las convierte en permanentes. El problema es que, en ausencia de *cualquier* estímulo, «muy pronto la máquina entró en un ciclo repetitivo, lo cual se hacía visible dede fuera al observar la repetición B A B A B… Este ciclo se quebró mediante el estímulo doloroso» **[70]**. Por tanto, en el propio proceso de programación se privilegian las emociones, lo que suscita la pregunta de si Turing ha impuesto signos emocionales arbitrarios a

un proceso mecánico (y por consiguiente, desprovisto de emociones), o si quizá las emociones humanas son en el fondo mucho más mecánicas de lo que querríamos admitir. Semejante estrategia encajaba bien con el esfuerzo principal de Turing en el informe, el de desmitificar el cuerpo humano, describiéndolo por medio del lenguaje más mecanicista posible, como en esta comparación entre el nervio y el circuito eléctrico: «El nervio, desde luego, posee muchas ventajas. Es extremadamente compacto, no se desgasta (¡si se mantuviese en un medio apropiado, probablemente durante cientos de años!) y tiene un consumo de energía muy bajo. Frente a estas ventajas, los circuitos electrónicos sólo poseen un atractivo, el de la velocidad» [71].

La medida en que determinamos si el comportamiento de otro ente da muestras de inteligencia, escribe Turing al final del informe

> está determinada tanto por nuestro estado de ánimo y formación como por las propiedades del objeto tomado en consideración. Si somos capaces de explicar y pronosticar su comportamiento, o si no parece existir un plan subyacente, no nos sentiremos inclinados a presuponer su inteligencia [72]. Es posible, por tanto, que tratándose del mismo objeto, un hombre lo considere inteligente y otro no; el segundo habría descubierto sus reglas de comportamiento.

A modo de ilustración de la cuestión, propone un experimento que anticipa lo que más adelante llegaría a conocerse como el test de Turing. Se coloca a dos jugadores de ajedrez más bien mediocres —A y C— en habitaciones separadas entre las cuales se ha establecido algún sistema de comunicación de las jugadas. Entretanto, un tercer hombre —B— opera una máquina programada para jugar al ajedrez. C juega una partida con A o con la máquina operada por B. ¿Será capaz de averiguar quién es su adversario? Turing sospecha que le resultará bastante difícil distinguirlos y concluye comentando entre paréntesis que se trata de un experimento que él ha llevado a cabo. Sin embargo, no nos ofrece el resultado del mismo y, por tanto, «Maquinaria inteligente» termina con unas cuantas preguntas pendientes: ¿puede decirse de una máquina educada por medio de un sistema de premios y castigos que es capaz de pensar? ¿Los

niños, cuando se ríen o lloran, nos revelan una chispa de alma que los distingue de las máquinas, o se limitan a seguir «reglas de conducta» con las que como espectadores nos identificamos porque estamos familiarizados con ellas? O, dicho de otro modo, ¿preguntar si las computadoras piensan exige que nos preguntemos también si los humanos computan?

7
El juego de imitación

1

El Manchester en el que se estableció Alan Turing en la primavera de 1948 era tan digno de nota por su fealdad industrial como por su clima desagradable. La Universidad de Manchester, lindante con el centro de la ciudad, era igualmente deprimente. Las paredes del laboratorio de Newman estaban cubiertas de baldosas de color marrón, lo que F. C. Williams, su socio en el proyecto, llamaba un estilo «váter tardío»[1]. La mayor parte de los profesores residían en el barrio residencial de Hale, donde Turing alquiló habitaciones antes de adquirir su primera y única casa, en 1950, en Adlington Road, en Wilmslow, Cheshire. Es probable que estas habitaciones se asemejaran a la que W. G. Sebald describió en *Los emigrados*, «enmoquetada con grandes motivos florales, con las paredes empapeladas de violetas y amueblada con un guardarropa, un lavabo y una cama de hierro con una colcha de chenilla»[2].

La máquina en la que Turing empezó a trabajar era un modelo preliminar previsto para realizar experimentos a pequeña escala, y por consiguiente, bautizada (en conformidad con el programa

educativo de Turing) el «Bebé». Su rasgo distintivo, sin embargo, era el empleo de la tecnología del tubo de rayos catódicos de Williams y Kilburn, lo cual suponía que, por vez primera, las instrucciones introducidas en la máquina y los resultados obtenidos por ésta podían ser *vistos*. No es que el Bebé emplease algo tan sofisticado como una pantalla: en su lugar, los números aparecían en forma de puntos luminosos sobre los tubos del propio monitor. Los puntos, o «bits», estaban dispuestos sobre cada tubo en una cuadrícula de 32 × 32 (para un total de 1.024), cada uno de los cuales estaba encargado de representar un 0 o un 1. Se le equipó con una placa de lectura de metal para detectar la carga y, por consiguiente, «leer» el valor del bit. Cada línea de 32 bits de la cuadrícula, a su vez, representaba ya un número o una instrucción; más tarde, las líneas se alargarían hasta llegar a los 40 bits cada una, y cada línea direccionable contendría o bien un número de 40 bits o dos instrucciones de 20 bits. Como comentó Turing en el manual del programador que preparó para la computadora de Manchester, la información guardada en el sistema de almacenamiento electrónico podía compararse «con un número de hojas de papel expuestas a la luz sobre una mesa, de manera que cualquier palabra o símbolo particular se hiciera visible en cuanto lo enfocase el ojo»[3], analogía que recuerda a las hojas perforadas empleadas en Bletchley en el esfuerzo por descifrar el código Enigma.

Una de las singularidades de trabajar con la computadora de Manchester era la notación de programación que, en palabras de Martin Campbell-Kelly, Turing «le endilgó a los usuarios de la máquina… Cada instrucción del programa consistía en 20 bits, que Turing anotó como cuatro caracteres empleando el código de cinco bits del teletipo de la Oficina de Correos. De hecho, empleó el código del teletipo como un sistema de numeración de base 32…»[4]. A su vez, esto requirió que Turing se inventase un «alfabeto» de equivalencias numéricas de 32 símbolos en el que la mayoría de números estaban emparejados con letras —el 9 era D, por ejemplo y el 19, W— en tanto que algunos estaban representados por símbolos (@ para 2, “ para 27, £ para 31) y el 0 por una barra inclinada (/). «Dado que el cero estaba representado por el carácter de barra inclinada»[5], explica Campbell-Kelly, «y

éste era el carácter más comúnmente empleado en la forma escrita de los programas y de los datos, uno de los primeros usuarios decidió que aquello debía ser un reflejo inconsciente del célebre clima deprimente de Manchester, ¡ya que hacía el efecto de la lluvia vista a través de un cristal sucio!» (/////////////////). Por si las cosas no estuvieran lo bastante complicadas, los números introducidos en la máquina tenían que escribirse al revés. Utilizando el código de base 32, la secuencia binaria de 40 cifras 10001 11011 10100 01001 10001 11001 01010 10110 (en notación denaria, 17 27 5 18 17 19 10 13) tenía que escribirse como Z"SLZWRF, que, por supuesto, tenía que invertirse antes. Ello resultaba en que cualquiera que usase la máquina —entre ellas las asistentes de Turing, Audrey Bates y Cicely Popplewell— acabara acordándose con frecuencia del profesor de idiomas de ésta. En efecto, el 24 de junio de 1949 (al día siguiente de su treinta y siete cumpleaños), cuando Turing pronunció una conferencia sobre «comprobación de una gran rutina» en Cambridge, el hecho de que no se molestase en aclarar el sistema de notación con el que escribía las cifras sobre la pizarra le pareció a Maurice Wilkes, que se encontraba entre el público, «de lo más estrambótico… [Turing] tenía un cerebro muy ágil y por tanto no veía la necesidad de hacer concesiones a los que no estuviesen tan bien dotados»[6]. El código de base 32 era como la bicicleta que Turing montaba en Bletchley: estaba amañada de tal forma que en ella no pudiese montar nadie más que él.

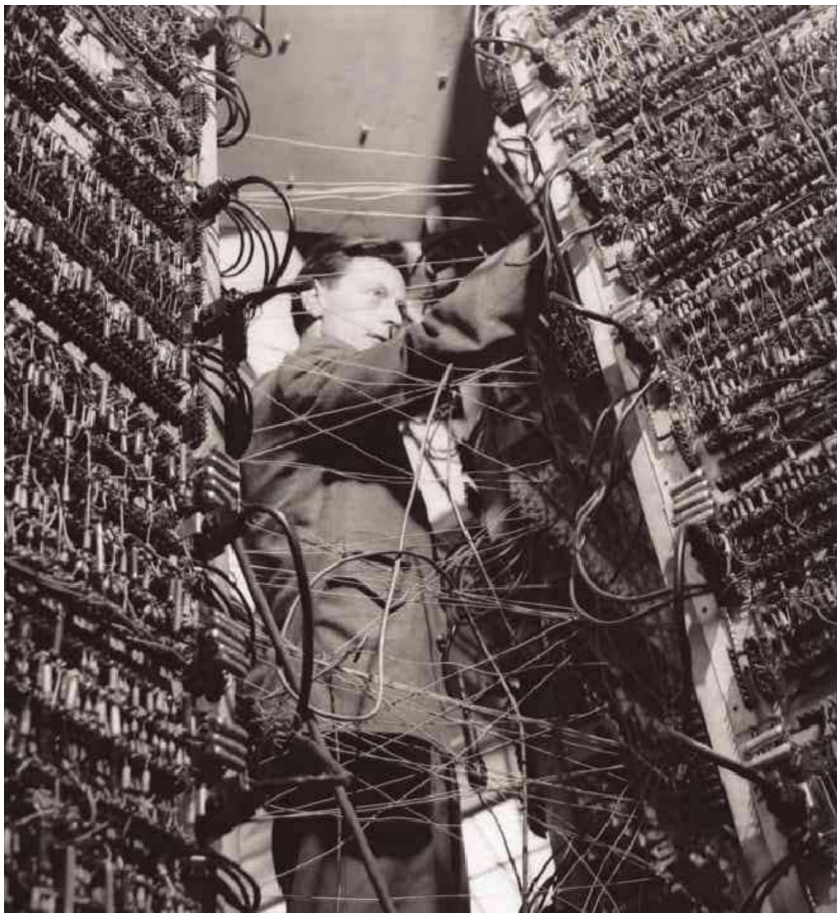
Como experimento para probar la eficacia del Bebé, Newman había decidido plantearle uno de los grandes enigmas de las matemáticas puras. Se trataba de los llamados primos de Mersenne, bautizados en honor del monje francés Marin Mersenne (1588-1648), que en 1644 empezó a investigar el interesante hecho de que ciertos números primos (M_n) adoptan la forma $M_n = 2^n - 1$ en que n también es primo. Como muy pronto descubrió Mersenne, la regla no era válida para todos los n primos. (Por ejemplo, $2047 = 2048 - 1 = 2^{11} - 1$ no es primo, aunque 11 sí lo es). Sin embargo, en el transcurso del siglo XIX había quedado demostrado que la regla sí era válida cuando n era igual a 2, 3, 5, 7, 13, 19, 31, 67 y 127. En 1876, Edouard Lucas (1842-1891) descubrió un método mediante el cual se demostró que $2^{127} - 1$ era primo, y en 1932 D. H. Lehmer

(1905-1991) pudo determinar que $2^{257} - 1$ no lo era[7]. Posteriormente, se descubrió que los números de Mersenne hasta llegar al $2^{521} - 1$ no eran primos. Un número tan enorme como el $2^{521} - 1$, se dio cuenta Newman, probablemente se hallara más allá de las capacidades del Bebé; su objetivo, sin embargo, no era tanto hacer un descubrimiento como evaluar las capacidades de la computadora. En consecuencia, encomendó al bebé la tarea de poner a prueba los primos de Mersenne empleando el método de Lucas, lo cual requería que en primer lugar dividiese los números en cuestión en bloques de cuarenta cifras cada uno y luego que programase los restos. En última instancia, aunque no encontró nuevos números primos, el Bebé pudo verificar los descubrimientos tanto de Lucas como de Lehmer, lo cual no era poca cosa, y a la vez buen indicio de su potencial.[1*]

El manejo de la máquina de Manchester no era fácil. Entre otras tareas, con frecuencia la operadora tenía que salir corriendo de la sala de la máquina a la de las cintas, en el piso de arriba, donde el ingeniero, siguiendo sus instrucciones, encendía la corriente de escritura y volvía a apagarla. Requería consumir grandes cantidades de energía física, y el margen para los errores era inmenso. «Como todos los vehículos que pasaban por delante eran una fuente de cifras espurias»[8], recordaría más tarde Cicely Popplewell, «solían ser necesarios muchos intentos para introducir una cinta, cada uno de los cuales exigía otro viaje a la habitación de las cintas». En efecto, muy pronto los miembros del equipo de Manchester estaban tan abrumados por las complejidades técnicas involucradas en lograr que la máquina hiciese su trabajo que cuando la noticia de sus investigaciones llegó a la prensa, se encontraban mal preparados para lidiar con las consecuencias. Y dio la casualidad de que en 1948, la publicación de un libro titulado *Cibernética*, del norteamericano Norbert Wiener (1894-1964), desencadenó una sucesión de acontecimientos que atrajo sobre el proyecto de Manchester una atención no deseada.

Lo que sucedió fue lo siguiente: en la primavera de 1947, Wiener, que admiraba a Turing, realizó un viaje especial para visitarle a fin de debatir el futuro de las máquinas inteligentes. Los escritos de Wiener eran mucho más sensacionalistas que los de Turing, a lo que hay que añadir que aquél era una especie de

futurista frustrado, propenso a exagerar (por ejemplo) la similitud entre los nervios y los circuitos eléctricos, y a profetizar panoramas en los que el trabajo fabril de los robots haría superfluos a sus equivalentes humanos.



La computadora de Manchester en 1955. (© Hulton-Deutsch Collection/CORBIS).

La noticia de la visita de Wiener y de sus ideas no tardó en llegar a oídos de sir Geoffrey Jefferson (1886-1961), catedrático del departamento de Neurocirugía de la Universidad de Manchester y uno de los primeros promotores de la lobotomía frontal. Estaba

previsto que Jefferson diese la Alocución Lister en Manchester el 9 de junio de 1949, y escogió como tema «La mente del hombre mecánico». En realidad, el objetivo de su conferencia era desenmascarar y desacreditar el proyecto informático de Manchester, entonando un himno a la superioridad innata del espíritu humano sobre todo lo mecánico o artificial:

> Hasta el día en que una máquina pueda escribir un soneto (es decir, no sólo escribirlo, sino saber que lo ha escrito) o componer un concierto a partir de pensamientos y emociones sentidos, y no por azares simbólicos, no podremos aceptar que la máquina sea igual al cerebro. Ningún mecanismo podría experimentar —y no sólo indicar de forma artificial, lo cual es una truco fácil— placer ante su éxito, dolor cuando sus válvulas se funden, entusiasmarse con los halagos, o sentirse abatido por sus errores, embelesado por el sexo, iracundo o abatido cuando no logra lo que quiere. **[9]**

En su informe para el NPL, Turing también había abordado, de forma bastante irónica, la afirmación de que, incluso si se le proporcionase un método de locomoción y órganos sensoriales, una máquina seguiría siendo incapaz de disfrutar con gran parte de las actividades de las que gozaban los seres humanos. Para Turing, sin embargo, aquello no tenía mayor importancia: como lo expresaría más tarde, la capacidad de disfrutar de comer fresas con nata no era prerrequisito de la inteligencia. Jefferson, por otra parte, enarbolaba la supuesta falta de conciencia de la máquina como prueba última de su estupidez. Al resumir su discurso al día siguiente, el *Times* de Londres parafraseó el mismo diciendo que a menos que una máquina «pudiese engendrar conceptos y hallar por sí misma palabras apropiadas con las que expresarlos… no tendría mayor inteligencia que un papagayo» **[10]**; el periódico también informó de que Jefferson «temía que surgieran gran cantidad de teorías vaporosas con ánimo de tentarles y obnubilar su entendimiento, pero predijo que jamás llegaría el día en que los elegantes salones de la Royal Society fuesen convertidos en garajes

destinados a alojar a los nuevos miembros».

Aquello lo había dicho con la clara voluntad de desairar a Newman, cuyo proyecto había sido financiado por la Royal Society, y un día más tarde el periódico continuó en la misma línea, publicando un artículo acerca del «cerebro mecánico» de Newman, e indicando que la «mente mecánica» acababa de «completar, en cuestión de semanas, un problema, la naturaleza del cual no se ha revelado, que comenzó en el siglo XVII y sólo ahora está siendo calculado por los seres humanos». La descripción que daba de la máquina decía que ésta «se componía de estantes de aparatos eléctricos consistentes en una masa de cables desordenados, válvulas, chasis y tubos de rayos catódicos. Cuando se pone en acción, el rayo catódico se convierte en un montón de puntos que muestra la información que hay en la máquina. Existe una estrecha analogía entre la estructura de ésta y el del cerebro humano». El artículo también incluía una entrevista con Turing, que dijo de la máquina:

> Esto no es más que un anticipo de lo que está por llegar, y sólo la sombra de lo que habrá de ser. Hemos de adquirir alguna experiencia con la máquina antes de poder conocer realmente sus capacidades. Puede que nos cueste años antes de que nos adaptemos a las nuevas posibilidades, pero yo no veo por qué no debería entrar en cualquiera de los campos normalmente ocupados por el intelecto humano y, con el tiempo, competir en igualdad de condiciones.
>
> Ni siquiera creo que se pueda trazar el límite en torno a los sonetos, aunque quizá la comparación sea un tanto injusta, ¡porque un soneto escrito por una máquina sería mejor apreciado por otra máquina! **[11]**

No había motivo para suponer, en otras palabras, que siquiera la poesía (Jefferson había finalizado su discurso con una cita de *Hamlet*) habría de seguir siendo provincia exclusiva de la imaginación humana. (Un pariente que acababa de leer el artículo le comentó a la señora Turing: «¿Verdad que es típico de Alan?» **[12]**). Y no obstante, lo que resulta más chocante aún que la

voluntad de Turing de atribuirle a una máquina la capacidad de escribir y comprender versos es su insinuación de que las máquinas podrían llegar a hablar entre sí un idioma no menos lleno de significación por el hecho de excluir a los seres humanos. Era como si lo que ofendiese a Turing, aún más que la avidez de Jefferson por cerrar vías de investigación, fuera su ostentosa proclamación de valores «humanistas» con el propósito explícito de negar a una categoría entera de seres el derecho a una existencia psíquica. De igual modo, los varones homosexuales, durante décadas, habían sido eliminados de la historia, y más concretamente, de la historia del erotismo humano, al que Jefferson había aludido a través de su mención del «embeleso del sexo». En cualquier caso, declaró Turing al *Times*, «La universidad estaba realmente interesada en la investigación de las máquinas en sí mismas»[13]. Era como si, a aquellas alturas, empezase a estar ya harto de lo humano.

En cuanto a Newman, dio su propia réplica al *Times* en forma de una carta publicada el 14 de junio, en la que intentaba resumir algo de la ciencia que había detrás del prototipo de la máquina de Manchester y también aclarar las cosas en lo concerniente a «la descripción más bien misteriosa[14]» que el periódico había dado acerca del problema que se remontaba al siglo XVII. Poner a prueba los primos de Mersennes, explicó, era exactamente la clase de ejercicio de matemática pura en la que Newman esperaba que su máquina destacara. En efecto, el fervor con el que intentó hacer el experimento comprensible para los lectores del *Times* proporcionó pruebas nítidas de lo distantes que estaban los puntos de vista del laboratorio de Manchester de los que subyacían al discurso de Jefferson. Sin embargo, durante unos días la sección de cartas al director del *Times* continuó dando pruebas de que quizá Turing y Newman subestimaban la hostilidad que su investigación tenía el potencial de despertar. De creer a Illtyd Trethowan, de Downside Abbey, Bath, Inglaterra se hallaba tan poco predispuesta a equiparar la naturaleza maquinal como la naturaleza humana; en una carta enviada al *Times* con fecha de 13 de junio, expresó su esperanza de que «los científicos responsables no tardarán en disociarse»[15] del programa de Newman. «Pero todos deberíamos darnos por advertidos. Incluso nuestros materialistas dialécticos sentirían la necesidad de guardarse, como los habitantes del

Erewhon de Butler, de la posible hostilidad de las máquinas» [2*].

En cuanto al comentario de Jefferson de que a menos que «pudiese crear conceptos y hallar por sí misma palabras apropiadas con las que expresarlos… no tendría mayor inteligencia que un papagayo», suscitó una apasionada defensa del ave agraviada en las páginas editoriales del periódico que puso punto final a tanto revuelo, cuyo autor protestó en tono burlón aduciendo que

> Quienes nunca han querido a un papagayo mal podrán apreciar la vehemencia de las emociones que aquellas palabras irreflexivas suscitaron en los pechos de quienes han hecho de esta sagaz ave un compañero íntimo y (hasta donde puede apreciarse) abnegado… Los papagayos son capaces de hacerle a uno la vida infernalmente desagradable si le cogen manía, y sería un gesto prudente además de cortés por parte del profesor Jefferson que retirase una observación que ha erizado tantas y tan bienamadas plumas. [17]

En lo que concernía al *Times*, el llamamiento en pro de una disculpa con el papagayo (pero no con los científicos) ponía fin a aquel asunto. No obstante Turing no había olvidado lo dicho por Jefferson. Si acaso, el intercambio en las páginas del periódico sólo había reforzado su interés por la inteligencia artificial. Pronto devolvería el golpe, y hasta el papagayo volvería a hacer acto de presencia.

2

«Maquinaria computativa e inteligencia», el artículo más célebre y en muchos sentidos más perverso de Alan Turing, apareció en la revista *Mind* en octubre de 1950. Mientras que en el informe del NPL había empezado por las objeciones más probables, en esta ocasión se guardó la lista de objeciones potenciales a la inteligencia

artificial para más adelante y arrancó con una clara declaración de intenciones. «Me propongo abordar la pregunta: "¿Son capaces de pensar las máquinas?", lo que exigiría comenzar por la definición de los términos "máquina" y "pensar"»[18]. Sin embargo, si estos significados «han de ser hallados mediante el examen del modo habitual en que se emplean, resulta difícil evitar la conclusión de que el significado y la respuesta a la pregunta: "¿Son capaces de pensar las máquinas?" ha de hallarse en una encuesta estadística del tipo Gallup». Semejante idea, en opinión de Turing, era «absurda».

En lugar de ofrecer definiciones, Turing reformuló la pregunta proponiendo lo que él denominaba el juego de las imitaciones. Más tarde sería conocido como el test de Turing, de modo muy parecido a como la máquina a de «Números computables» acabó por ser llamada la máquina de Turing. El juego, tal como él lo explica

> requiere tres personas, un hombre (A), una mujer (B) y un interrogador (C) que puede pertenecer a cualquiera de ambos sexos. El interrogador permanece en una habitación separada de los otros dos. El objetivo del juego es que el interrogador determine cuál de los dos es la mujer y cuál el hombre. Él los conoce por las etiquetas X e Y, y al final del juego o bien dice «X es A e Y es B» o «X es B e Y es A». Al interrogador se le permite plantearle a A y B preguntas como ésta:
>
> C: ¿Querría decirme X la longitud de su cabello?
>
> Supongamos ahora que X es A, y A tiene que responder. El objetivo de A es tratar de lograr que C se equivoque al efectuar la identificación. Su respuesta, por tanto, podría ser:
>
> —Llevo un corte de pelo a lo garçon y los cabellos más largos tienen unos veintidós centímetros de largo.
>
> A fin de que los tonos de voz no puedan ayudar al interrogador, las respuestas han de darse por escrito o, mejor aún, redactarse a máquina. La situación ideal es que un teletipo comunique a ambas habitaciones. Otra posibilidad es que un intermediario repita las preguntas y las respuestas. El objetivo del tercer jugador (B) es ayudar al interrogador. La mejor estrategia para ella

> probablemente consista en dar respuestas veraces. Puede añadir coletillas del tipo: «¡Soy la mujer, no le hagas caso!» a sus respuestas, pero no conseguirá nada con ello, ya que al hombre le está permitido realizar comentarios similares.
>
> Ahora formulamos la pregunta: «¿Qué sucederá cuando en el juego una máquina adopte el papel de A? ¿Se equivocará el interrogador tantas veces como cuando el juego se disputa entre un hombre y una mujer?». Estas preguntas ocupan el lugar de la original: «¿Son capaces de pensar las máquinas?». **[19]**

En «Números computables», la demostración de Turing de que el *Entscheidungsproblem* era insoluble había dependido de la ingeniosa sustitución de una pregunta complicada —¿puede una máquina decidir si una afirmación es demostrable?— por otra más sencilla: ¿imprime alguna vez un 0 determinada máquina? Siguiendo el mismo razonamiento, en «Maquinaria computativa e inteligencia», Turing sostuvo que la complicada pregunta: «¿Son capaces de pensar las máquinas?», podía sustituirse por ésta, más sencilla: «¿Puede una máquina ganar al juego de la imitación?». Las dos, en opinión de Turing, eran idénticas, porque el comportamiento, en su opinión, *es* identidad. Y no obstante, aplicar una noción tan matemáticamente exacta de identidad a la enrevesada cuestión de qué significaba lo «humano» era prestarse a todo tipo de objeciones. Y de problemas.

Por ejemplo, la ambigüedad de la pregunta de Turing: «¿Qué sucederá cuando una máquina adopte el papel de A en el juego?», ha suscitado grandes debates. ¿Quiere decir Turing que en lugar de disputarse entre un hombre y una mujer, el juego debería disputarse entre un hombre y una máquina? El resto del artículo parece confirmar esta interpretación. Y, no obstante, una lectura literal del párrafo sugiere otro significado: que ahora el juego debería disputarse entre un hombre y *una computadora que fingiera ser un hombre que finge ser una mujer*. Hodges no acepta esta interpretación, llegando hasta el punto de afirmar que «la analogía de la adivinanza de género de Turing le quita mérito a su propio argumento…» **[20]**. A fin de cuentas, la sección que sigue al párrafo

conflictivo se ocupa íntegramente de las formas en que una máquina pudiera convencer a un interrogador para que creyese estar hablando con un ser humano, varón o hembra:

> El nuevo problema tiene la ventaja de trazar una línea bastante nítida entre las capacidades físicas y psíquicas de un hombre. Ningún ingeniero ni químico afirma ser capaz de producir un material imposible de distinguir de la piel humana [3*]. Es posible que en algún momento se logre, pero aun suponiendo que semejante invención estuviera disponible, no creo que encontráramos muchas razones para tratar de hacer más humana una «máquina de pensar» ataviándola con carnes artificiales. La forma en que hemos planteado el problema refleja este hecho al imponer la condición que impide al interrogador ver o tocar a los demás competidores o escuchar sus voces. Algunas otras ventajas del criterio propuesto pueden ser puestas de manifiesto mediante muestras de preguntas y respuestas. Por ejemplo:
>
> P: Por favor, escríbeme un soneto sobre Forth Bridge.
>
> R: No cuentes conmigo para eso. Jamás he podido escribir poesía.
>
> P: Suma 34957 y 76764.
>
> R: (Pausa de unos treinta segundos antes de responder) 105621.
>
> P: ¿Juegas al ajedrez?
>
> R: Sí.
>
> P: Tengo a mi R en R1 y no me queda ninguna otra pieza. Tú sólo tienes R en R6 y T en T1. ¿Cuál es tu jugada?
>
> R: (Al cabo de una pausa de quinces segundos). R-R8 mate. [21]

Hodges tiene razón en señalar que el género no desempeña papel alguno en las respuestas aportadas (incluyendo la suma incorrecta). Y sin embargo, desestimar el trasfondo que expone la ambigüedad de Turing es desestimar también el palpable tono de ansiedad

sexual que recorre todo el artículo. Por ejemplo, sólo unos párrafos más abajo del diálogo arriba citado, Turing escribe: «Cabría recalcar que cuando se dispute el "juego de las imitaciones", es posible que la mejor estrategia para la máquina denlo sea imitar el comportamiento del hombre… En cualquier caso, no existe intención alguna de investigar aquí la teoría del juego, y daremos por supuesto que la mejor estrategia consiste en tratar de proporcionar las respuestas que sería natural que diese un hombre». **[4*] [22]** Tratar de proporcionar «las respuestas que sería natural que diese un hombre» sería, por supuesto, también la mejor estrategia a adoptar por parte de un homosexual que tratase de persuadir a su interrogador de que es heterosexual; en esta versión alternativa del juego de las imitaciones, hablaría de críquet y describiría a la mujer con la que le gustaría contraer matrimonio. Y aunque quizá el paralelismo sea fortuito —«un hombre», al fin y al cabo, podría significar con la misma facilidad «un ser humano» que «un ser humano de género masculino»; el empleo de la palabra «natural» por parte de Turing sugiere una conciencia más aguda de la idea de lo «natural» de lo que exige la situación. Como era de esperar, los argumentos respecto de la naturalidad o antinaturalidad de la homosexualidad recorren tanto las diatribas antihomosexuales como las apologías de la homosexualidad escritas en aquella época, siendo la defensa de lo artificial por parte de Oscar Wilde enarbolada a menudo como defensa irónica del amor «antinatural». **[5*]**

La preocupación de Turing por el género reaparece varias veces en el transcurso del artículo. En la sección 3.a, un debate en torno a qué es lo que define exactamente una «máquina» concluye con la salvedad más bien estrafalaria de que

> querríamos excluir de la categoría de máquinas a los hombres nacidos de la forma acostumbrada.
>
> Pero resulta difícil satisfacer esta condición. Uno podría insistir, por ejemplo, en que todas las personas que integrasen el equipo de ingenieros fueran del mismo sexo, pero esta condición no resultaría realmente satisfactoria, pues probablemente sea posible criar a un individuo completo a partir de una sola

> célula de (digamos) un hombre. Hacerlo sería una hazaña de la técnica biológica merecedora de los máximos elogios, pero no lo consideraríamos como un ejemplo de «construcción de una máquina pensante». [25]

¿Se trata aquí de que el equipo de ingenieros —todos ellos «del mismo sexo»— fuese capaz de unir sus fuerzas y, en una especie de orgía de la clonación, crear a un infante humano? Se trata de una fantasía un tanto extraña, que echa mano de la ciencia para imaginar un medio a través del cual los hombres pudiesen procrear sin mujeres. Por supuesto, Turing también anhelaba engendrar una criatura propia: una criatura informática. Por consiguiente, no resulta sorprendente que en el artículo retorne sobre la metáfora de la crianza y la educación de los niños, recurriendo a una «analogía doméstica» [26] para describir las formas en que podría enseñarse a una máquina a obedecer «no instrucciones renovadas cada vez, sino las mismas una y otra vez»:

> Supongamos que todas las mañanas de camino al colegio mamá quiere que Tommy pase por el zapatero a ver si sus zapatos están listos; puede pedírselo todas las mañanas o, como alternativa, puede colocar de una vez por todas un aviso en el pasillo, que él verá al marcharse al colegio y que le recordará que debe pasar a preguntar por los zapatos y, también, que si regresa con ellos, debe destruir el aviso. [23]

En este caso, «Tommy» es la computadora, el retoño de un grupo de ingenieros que ha renunciado a la clonación en beneficio de otras formas de colaboración, quizá la clase de colaboración en el experimento científico que Turing tanto apreciaba de su amistad con Christopher Morcom. Más importante, Tommy es una computadora digital, y a juicio de Turing, sólo una computadora digital —una máquina universal— tiene alguna posibilidad de salir airoso del juego de las imitaciones.

> Creo que en un plazo de aproximadamente cincuenta años [6*] será posible programar computadoras con una

> capacidad de almacenamiento de aproximadamente 10^9, y hacer que jueguen al juego de las imitaciones tan bien que un interrogador medio no tendrá más de un 70 por ciento de posibilidades de efectuar una identificación correcta tras cinco minutos de interrogatorio. **[27]**

Sin duda, el «Bebé» de Manchester estaba madurando.

3

A aquellas alturas, un tono sutil pero inconfundible de ansiedad respecto del género, la imitación sexual e incluso la procreación homosexual había llegado a afirmarse en el seno de su argumento «oficial» sobre la inteligencia artificial. Pero ¿cuál es su origen? La respuesta se remonta a la Alocución Lister de sir Geoffrey Jefferson, cuyo tono ligeramente machista ridiculiza levemente Turing en su artículo, a la vez que refuta la toma de posición «humanista» de éste. Ello resulta especialmente evidente hacia la mitad de «Maquinaria computativa e inteligencia», donde Turing vuelve a adoptar la estrategia de la enumeración y posterior refutación de las objeciones que podrían plantearse a la posibilidad de una máquina pensante. Aunque al profesor Jefferson no se le nombra hasta la cuarta de éstas —«El argumento de la conciencia»— su espíritu se invoca y es objeto de burla desde el mismo comienzo.

Por ejemplo, en su refutación de la primera objeción —«la objeción teológica» **[28]** según la cual «Dios ha dotado de un alma inmortal a cada hombre y mujer, pero no a ningún otro animal ni a las máquinas»—, Turing cuestiona la superioridad implícita de la humanidad que está en la base de la diatriba de Jefferson, señalando que «encontraría más convincente el argumento si los animales estuvieran clasificados con los hombres, pues existe mayor diferencia, a mi parecer, entre el típico ser animado y el inanimado que entre el hombre y los demás animales». Asimismo, ¿cómo se

supone que han de lidiar los cristianos con «el punto de vista musulmán de que las mujeres carecen de alma»? Al invocar los derechos no sólo de las mujeres sino también de los animales, Turing se alinea (él y su computadora) con todos las sectores de población que han padecido a manos de religiones que dan por sentada la superioridad del hombre (en un caso) y del género humano (en el otro). Frente a ello postula su propia y más bien extraña teología, la cual, ni que decir tiene, bendice las máquinas, y equipara la construcción de éstas con la procreación: «Al intentar construir tales máquinas no usurpamos irreverentemente Su poder de creación de almas, ni más ni menos de lo que lo hacemos al procrear; más bien somos, tanto en un caso como en el otro, instrumentos de Su voluntad al proporcionar morada a las almas por Él creadas» **[29]**.

Turing pone aún más osadamente en entredicho el postulado de la superioridad del género humano cuando responde a la segunda objeción, que él denomina la objeción «del avestruz» y que resume como sigue: «Las consecuencias de admitir que las máquinas pensasen serían demasiado espantosas. Tengamos fe y esperanza de que no puedan llegar a hacerlo» **[30]**. Ésta, por supuesto, era la misma postura a la que apelaban algunos de los escritos de Norbert Wiener y, al responder a ella, Turing también le responde a Jefferson, señalando que la convicción de que el género humano es «necesariamente superior» al resto de la creación «tiene muchas probabilidades de ser tenazmente sostenida entre los intelectuales, puesto que valoran el poder del pensamiento más que el resto de las personas y se sienten más inclinados a basar su creencia en la superioridad del Hombre en este poder». Con sus alusiones a Shakespeare, Jefferson es representativo de esos «intelectuales» cuya tendencia a exaltar a su propia especie le merece a Turing tan escasa consideración. Se trata de una cuestión sobre la que vuelve en su respuesta a la tercera objeción, la «objeción matemática», que es, en esencia, el argumento (parafraseado en el informe del NPL) de que su propia resolución del *Entscheidungsproblem*, en conjunción con los hallazgos de Gödel, demuestra «que existen ciertas cosas que… una máquina no puede hacer». Es evidente que a Turing le incomodaba la posibilidad de que su solución al *Entscheidungsproblem* pudiera emplearse para atacar a la máquina

que el *Entscheidungsproblem* le había impulsado a crear. Al responder, se centra de lleno en la psicología de lo que podría llamarse el «complejo de superioridad» natural de los seres humanos (los intelectuales en particular), y hace la aguda observación de que cuando una máquina responde de forma equivocada a

> la pregunta crítica apropiada… eso nos proporciona una cierta sensación de superioridad. ¿Es ilusoria esta sensación? Sin duda es muy genuina, pero no creo que deba otorgársele excesiva importancia. Nosotros también damos respuestas equivocadas con la suficiente frecuencia como para que se comprenda que nos sintamos tan complacidos ante la evidencia de semejante falibilidad por parte de las máquinas. Por añadidura, en tales ocasiones nuestra superioridad sólo puede hacerse sentir en relación con una máquina sobre la cual nos hemos apuntado nuestra mezquina victoria. Triunfar simultáneamente sobre todas las máquinas sería imposible. **[31]**

En este pasaje Turing parece estar divirtiéndose sutilmente, aludiendo a la ansiedad del señor Illtyd Trethowan en torno a «la posible hostilidad de las máquinas», sobre *todas* las cuales jamás podríamos tener esperanzas de triunfar. Más importante, sin embargo, esta refutación le proporciona la oportunidad de reiterar uno de sus puntos clave: el de la falibilidad como uno de los ingredientes claves de la inteligencia.

Es en su refutación de la cuarta objeción —el «argumento de la conciencia»— cuando Turing apunta directamente contra Jefferson, al que empieza citando y a quien le arroja una de sus réplicas más memorables e ingeniosas:

> Se diría que este argumento niega la validez de nuestra tesis. De acuerdo con la forma más extrema de este punto de vista, el único modo en que podríamos tener la certeza de que una máquina piensa es ser la propia máquina y sentimos pensar… De igual forma, de acuerdo con este punto de vista, la única forma de

> saber que un hombre piensa es ser ese hombre particular. Se trata, en realidad, del punto de vista solipsista. Quizá sea el punto de vista más lógico que pueda sostenerse, pero dificulta la comunicación de ideas. Es probable que A crea que «A piensa pero B no» y B que «B piensa pero A no». En lugar de debatir sin cesar acerca de esta cuestión, lo habitual es aceptar la convención cortés de que todo el mundo piensa. [32]

De forma más bien astuta, Turing escribe que él «está seguro de que el profesor Jefferson no desea adoptar el punto de vista extremo y solipsista» [33]. Acto seguido, compara su propio juego de la imitación con un juego llamado *viva voce*, cuyo objetivo es descubrir si alguien realmente ha entendido algo o se lo ha aprendido «como los papagayos» [34]. Cabe señalar que el ejemplo de *viva voce* citado por Turing está repleto de referencias literarias: el interrogador hace su primera pregunta acerca de Shakespeare y luego se desvía hacia Dickens. Lo que importa es que el juego de las imitaciones también determina si alguien se ha aprendido algo «como los papagayos»; sólo se distingue del *viva voce* en que la persona a la que se está poniendo a prueba es una máquina. Tampoco es una coincidencia que la literatura desempeñe un papel tan prominente en este *viva voce*, cuyo orquestador, cabe suponer, es un intelectual autoproclamado a lo Jefferson. Y por supuesto, cualquier intelectual que se precie preferiría abandonar el argumento de la conciencia antes que «verse forzado a adoptar la posición solipsista» [35].

Una vez desembarazado de Jefferson —al menos de forma nominal—, lo siguiente que hace Turing es abordar toda una categoría de objeciones que él denomina «argumentos a partir de diversas discapacidades», las cuales, según él, adoptan la forma de «le concedo que puede lograr que las máquinas hagan todas las cosas que ha mencionado, pero jamás logrará fabricar una que haga X». Acto seguido describe una «selección» de éstas, en un tono más bien burlón:

> sea amable, ingeniosa, hermosa, amigable; muestre iniciativa, tenga sentido del humor, distinga el bien del

> mal, cometa errores; se enamore, disfrute de las fresas con nata; haga que alguien se enamore de ella, aprenda de la experiencia; emplee las palabras de forma correcta, sea el sujeto de su propia reflexión; posea tanta diversidad de comportamiento como un hombre, haga algo realmente nuevo. **[36]**

Como indica Turing, «no suelen aportarse pruebas a favor de dichas afirmaciones», la mayoría de las cuales están

> basadas en el principio de la inducción científica… Las obras y las costumbres de la humanidad no parecen un material muy apropiado al que aplicar la inducción científica. Si han de obtenerse resultados fiables, habría que investigar una gran extensión del espacio-tiempo. De lo contrario, podríamos (como hacen la mayor parte de los niños ingleses) decidir que todo el mundo habla inglés y que sería una tontería aprender francés.

El repudio de la inducción científica por parte de Turing, sin embargo, era algo más que una pulla contra la insularidad y la cerrazón mental de Inglaterra. En realidad, su objetivo era mucho más ambicioso: llamar la atención sobre la infinita regresión en la que es probable que cayésemos si tratásemos de esgrimir las discapacidades (como, por ejemplo, la incapacidad por parte de un hombre de sentirse atraído por una mujer) como factores determinantes a la hora de definir la inteligencia. Tampoco la cuestión de la homosexualidad anda lejos de la mente de Turing, como atestigua la vuelta de tuerca que da en el siguiente párrafo:

> Existen, no obstante, observaciones especiales que conviene hacer acerca de muchas de las discapacidades mencionadas. Al lector quizá le parezca una frivolidad mencionar la incapacidad de disfrutar de las fresas con nata. Es posible que pudiera inventarse una máquina que disfrutara de este delicioso manjar, pero cualquier intento de fabricarla sería una idiotez. Lo importante en esta discapacidad es que contribuye a algunas otras, por ejemplo, a la dificultad de que se dé la misma

> amabilidad entre hombre y máquina que entre hombre blanco y hombre blanco, u hombre negro y hombre negro. **[37]**

Al brebaje del género y la sexualidad, pues, se añade el de la raza, ya que «fresas con nata» (antes encajada entre la capacidad de enamorarse y la de hacer que alguien se enamore de uno) se convierte en una palabra clave para gustos que Turing prefiere no llamar por su nombre. En muchos sentidos, el pasaje recuerda aquella escena más bien amanerada de los baños públicos que tiene lugar en la película *Espartaco* (1960), en la que un diálogo sobre otros «manjares» cifra una sutil negociación erótica entre Craso (Lawrence Olivier) y su esclavo Antonino (Tony Curtis).

> Craso: ¿Comes ostras?
> Antonino: Cuando las tengo, amo.
> Craso: ¿Comes caracoles?
> Antonino: No, amo.
> Craso: ¿Consideras moral comer ostras e inmoral comer caracoles?
> Antonino: No, amo.
> Craso: Por supuesto que no. Es sólo cuestión de gusto. ¿No es así?
> Antonino: Sí, amo.
> Craso: Y el gusto no es lo mismo que el apetito y por lo tanto no es una cuestión moral. ¿No es así?
> Antonino: Podría razonarse de tal manera, amo.
> Craso: Ya es suficiente, Antonino, mi túnica. Ah… mis gustos… incluyen tanto los caracoles como las ostras. **[38]**

En este intercambio, también Craso participa en una especie de juego de las imitaciones cuyo propósito es aseverar si sería o no buena idea ofrecerle a Antonino (que prefiere las ostras) algunos de sus caracoles. Antonino, al mismo tiempo, advierte las ventajas, al menos en ocasiones, de dar la respuesta «errónea» («No, amo») del mismo modo que tendría que hacerlo una máquina si hubiera de tener alguna posibilidad de ganar la partida:

> La afirmación según la cual las «máquinas no pueden cometer errores» parece curiosa… creo que esta crítica puede explicarse en términos del juego de las imitaciones. Se sostiene que el interrogador podría distinguir a la máquina del hombre simplemente planteándoles varios problemas de aritmética. La máquina quedaría desenmascarada a causa de su mortífera exactitud. A esto puede replicarse muy sencillamente: la máquina (programada para tomar parte en el juego) no intentaría dar respuestas correctas a los problemas de aritmética. Introduciría de forma deliberada errores calculados para confundir al interrogador. **[39]**

Hay que distinguir, pues, los «errores de funcionamiento» **[40]** de los «errores de conclusión». Tampoco debe darse por supuesto que las máquinas son incapaces de engañar. Por el contrario, la crítica según la cual «una máquina no puede mostrar excesiva diversidad de comportamientos es sólo otra forma de decir que no puede tener excesiva capacidad de almacenamiento» **[41]**.

Turing pone fin a su catálogo de posibles objeciones a la máquina pensante con cuatro ejemplos bastante curiosos. El primero, que denomina la «objeción de lady Lovelace» (en alusión a la hija de Byron y musa de Babbage) es que las computadoras son incapaces de «originar» nada. En su lugar (y aquí es donde Turing cita a lady Lovelace), «una computadora puede hacer *cualquier cosa que nosotros sepamos ordenarle* que haga» **[42]**. No obstante, como señala Turing, en la práctica las máquinas sorprenden a los seres humanos de forma constante. Acto seguido, Turing refuta el «Argumento de la Continuidad del Sistema Nervioso» —pese a ser cierto— que una máquina de estado discreto no puede imitar el comportamiento del sistema nervioso, «si nos adherimos a las condiciones del juego de la imitación, el interrogador será incapaz de aprovecharse de esta diferencia» **[43]** y evalúa el «Argumento de la Informalidad del Comportamiento» de esta guisa: «Si cada hombre dispusiera de un conjunto de reglas de conducta definidas, por medio de las cuales regulase su existencia, sería poco más que una máquina. Sin embargo, tales reglas no existen, de manera que

los hombres no pueden ser máquinas» [44]. A esta objeción responde Turing distinguiendo en primer lugar las «reglas de conducta» de las «leyes del comportamiento» que presuntamente rigen a las máquinas, e indicando después que «nos resulta más fácil convencernos a nosotros mismos de la inexistencia de reglas de conducta absolutas que de la de leyes de comportamiento absolutas». A modo de ejemplo, describe otro experimento:

> He preparado en una computadora de Manchester un pequeño programa que emplea sólo mil unidades de almacenamiento, por medio del cual la máquina a la que se le suministra un número de dieciséis cifras responde con otro antes de transcurridos dos segundos. Desafío a cualquiera que, a partir de estas respuestas, aprenda lo suficiente sobre el programa como para ser capaz de pronosticar las respuestas a valores nuevos. [45]

La última —y la más extraña— objeción que aborda Turing es el argumento «de la percepción extrasensorial», a la que antepone una descripción sorprendentemente ingenua de la telepatía, la clarividencia, la precognición y la psicokinesia. Acerca de ellas comenta: «Por desgracia las pruebas estadísticas, al menos para la telepatía, resultan abrumadoras. Resulta muy difícil reorganizar las propias ideas para que encajen estos nuevos hechos en ellas» [46]. Sin dar una fuente de estas «abrumadoras» pruebas, Turing pasa a exponer el argumento «de peso» de la percepción extrasensorial frente a que una máquina pudiera salir victoriosa del juego de las imitaciones:

> Juguemos al juego de las imitaciones, utilizando como testigos a un hombre que sea buen receptor telepático y una computadora digital. El interrogador puede hacer preguntas del tipo «¿De qué palo es la carta que sostengo en mi mano derecha?», y el telepático o clarividente acierta 130 veces de 400. La máquina sólo puede adivinar al azar, y quizá acierte 104 veces, de modo que el interrogador hace la identificación correcta. [47]

Para Turing, el panorama descrito abre la «interesante posibilidad» de dotar a la computadora digital en cuestión de un generador de números aleatorios.

> En ese caso resultará natural emplearlo para decidir qué respuesta dar. Pero entonces el generador de números aleatorios estará sujeto a los poderes psicokinésicos del interrogador. Quizás esta psicokinesia haga que la máquina acierte más a menudo de lo que cabría esperar en un cálculo de probabilidades, de modo que el interrogador aún podría ser incapaz de hacer la identificación correcta. Por otra parte, podría adivinar correctamente, sin efectuar pregunta alguna, mediante la clarividencia. Con la percepción extrasensorial todo es posible. **[48]**

En lugar de ofrecer una refutación de este argumento, Turing dice que quizá la mejor solución sería colocar a los competidores en una «habitación a prueba de telepatía», se entienda por eso lo que se desee. Cabe preguntarse lo que los responsables de la augusta publicación *Mind* pensarían de aquel recurso estrafalario a una pseudociencia tan carente de fundamento, si bien no tan perniciosa como aquella sobre cuyo altar Turing pronto sería sacrificado como experimento. Pues ¿cómo podrían saber que años antes Turing había amado a un muchacho llamado Christopher Morcom, con cuyo espíritu había resuelto permanecer en contacto incluso tras su muerte? **[7*]**

«Maquinaria computativa e inteligencia» concluye con una reflexión acerca de la docencia y el aprendizaje que reitera gran parte de la técnica recomendada en «Maquinaria inteligente». Aquí, sin embargo, Turing agrega la condición de que su sistema de castigos y recompensas «no presupone sentimientos de ninguna clase por parte de la máquina» **[49]**. Alejándose un poco del espíritu rigurosamente conductista que animaba a «Maquinaria inteligente», también recuerda a sus lectores que «el recurso a los castigos y las recompensas puede ser, en el mejor de los casos, una parte del proceso de aprendizaje… Para cuando una criatura aprendiese a repetir "Casablanca" es probable que se sintiera muy dolorida si el

texto sólo pudiera descubrirse por medio de una técnica tipo “veinte preguntas” y a cada “NO” le siguiera un golpe» [50]. También es preciso emplear técnicas menos emocionales, sobre todo cuando la meta es enseñar a la máquina a obedecer órdenes en un lenguaje simbólico.

Probablemente la mayor divergencia con respecto a «Maquinaria inteligente», sin embargo, es que aquí Turing opta por humanizar a su niño-máquina en un grado mucho mayor que en el artículo anterior, haciendo más hincapié en su carácter infantil que en su carácter maquinal. Por ejemplo, hacia el final del artículo, pregunta: «En lugar de intentar producir un programa que simule la mente de un adulto, ¿por qué no tratar de producir uno que simule la de un niño? Cabe suponer que el cerebro infantil es semejante a un cuaderno recién comprado en la papelería. Más bien poco mecanismo y muchas hojas en blanco» [51]. Sin embargo, debido a que su mente-cuaderno está contenida en un cuerpo-máquina, hay que aplicar un procedimiento didáctico ligeramente diferente del que se aplicaría a una criatura «normal»:

> Por ejemplo, no se le dotará de piernas, de modo que no se le podría pedir que saliera a la intemperie y llenase el cubo del carbón. Quizá no tenga ojos. Sin embargo, por muy bien que la inventiva de la ingeniería pudiera colmar estas deficiencias, no se podría enviar a la criatura a la escuela sin que los demás niños se burlaran de ella en demasía. Tendría que recibir algunas clases particulares. No hemos de preocupamos en exceso de las piernas, ojos, etc. El ejemplo de la señorita Hellen Keller demuestra que la educación puede darse siempre y cuando entre el profesor y el alumno exista algún tipo de comunicación y en ambas direcciones. [52]

Uno se imagina a Turing de niño, «viendo crecer las margaritas». ¿Se identificaría de alguna forma con Hellen Keller, la niña ciega y sorda que recibió una educación ajustada a sus particulares discapacidades? Sin duda

> los imperativos que puede obedecer una máquina

> desprovista de miembros serían forzosamente de carácter muy intelectual… pues en cada etapa en que se emplea un sistema lógico, existe un número muy grande de pasos alternativos, cualquiera de los cuales está permitido aplicar, en la medida en que nos mantengamos en el marco de la obediencia a las reglas del sistema lógico. Estas opciones son las que marcan la diferencia entre un razonador brillante y otro baladí, no entre uno veraz y otro falaz. [53]

Y la capacidad de raciocinio es, en última instancia, la prueba definitiva de la inteligencia. Si ha de obtenerse, sin embargo, la flexibilidad es esencial, incluso si «las reglas que cambian en el proceso de aprendizaje son de tipo menos pretencioso, de validez efímera. El lector podría establecer un paralelismo con la constitución de Estados Unidos» [54].

En última instancia, cree Turing, la meta debería ser exactamente aquello que alarma tanto a Jefferson: construir máquinas que «terminen por competir con los hombres en todos los campos puramente intelectuales» [55]. Quizá la mejor forma de comenzar sería enseñarle a la máquina alguna «actividad muy abstracta», como jugar al ajedrez, o a lo mejor tendría más sentido proporcionarle «los mejores órganos sensoriales que puedan pagarse con dinero, y después enseñarle a comprender y hablar inglés». En cualquiera de los dos casos, la nota final con la que Turing cierra «Maquinaria computativa e inteligencia» combina el triunfo con cierta actitud de indiferente seguridad. Turing considera que las máquinas pensantes son inevitables, nos guste o no. Es como si una vez más su fe en la tolerancia futura le hubiese dado fortaleza contra la amenaza, muy real, de la injusticia presente.

4

Los años que Turing pasó trabajando en la computadora de

Manchester estuvieron marcados por su creciente aislamiento de los demás, a medida que ésta le interesaba cada vez menos en sí misma y participaba cada vez más en los experimentos para los cuales la estaba empleando. Y no es que se limitara a realizar experimentos: también redactó un manual de programación en el que instaba a los potenciales usuarios de la máquina de Manchester a emplear una sensibilidad cuasi-literaria a la hora de diseñar programas. La mayor parte del tiempo, sin embargo, la dedicaba a la aplicación de la máquina a problemas de matemática pura tales como la construcción de una nueva demostración para el problema de la palabra en teoría de semigrupos y a trabajar en la teoría de las permutaciones, los cuales habían desempeñado un importante papel en su labor de desencriptamiento en Bletchley. Su colega Christopher Strachey también enseñó a la máquina a cantar «Dios salve al rey» [56].

Es probable que el experimento que más significaba para Turing, sin embargo, fuera aquel con el que tuvo menos éxito. Durante años había estado fascinado por la hipótesis de Riemann, de cuya falsedad, por algún motivo, estaba convencido. Cierto, la máquina que había tratado de construir en colaboración con Donald MacPhail en Cambridge terminó por ser descartada. No obstante, jamás olvidó su ambición de batir el récord de Titchmarsh para el cálculo de los ceros, y todavía esperaba que un día pudiera encontrar un cero situado fuera de la línea crítica. Con ese objetivo, sin embargo, había publicado en 1943 un artículo titulado «Un método para el cálculo de la función-zeta», en los *Proceedings of the London Mathematical Society*.

Titchmarsh, empleando métodos manuales, había demostrado que todos los ceros hasta llegar a $t = 1.468$ se hallaban dispuestos a lo largo de la línea crítica. En 1953 diseñó un programa por medio del cual la computadora de Manchester pudiera calcular los ceros zeta empleando su complejo código de base 32, y por medio de ese programa demostró la validez de la hipótesis de Riemann hasta llegar a $t = 1.540$ (72 ceros más que Titchmarsh) antes de que la máquina se estropeara. Se trataba, como apuntó un contrito Turing, de «un progreso desdeñable» [57].

8
La boya de Pryce

1

En la primavera de 1951, Alan Turing fue elegido miembro de la Royal Society. Entre las notas de felicitación que recibió, había una de su viejo antagonista sir Geoffrey Jefferson, quien escribió: «¡Me alegro muchísimo, y espero sinceramente que todas sus válvulas estén radiantes de satisfacción y emitan mensajes que interprete usted como placer y orgullo! (¡pero no se equivoque!)»[1].

Casualidades de la vida, Turing y Jefferson estaban destinados a chocar de nuevo, con ocasión de una mesa redonda sobre inteligencia artificial retransmitida por el Tercer Programa de la BBC el 14 de enero de 1952, y en la cual los otros participantes fueron Max Newman y el viejo amigo de Cambridge de Turing Richard Braithwaite, uno de los dos matemáticos que, muchos años antes, había solicitado una separata de «Números computables». Braithwaite actuó como moderador y aunque durante la conversación hizo poco por sostener la causa de la máquina pensante, así al menos dio la oportunidad a los contertulios de pulir y aclarar algunas de sus posiciones. Como siempre, Jefferson

insistió que «lo que distingue al ser humano de la máquina es el elevado contenido emocional de sus procesos psíquicos»[2], en tanto que Newman —siempre tan pragmático— se afanó tenazmente por concentrar la atención sobre aquellas cosas que las máquinas existentes podían ya hacer y no lo que podrían hacer las máquinas futuras. Buena parte del tiempo de emisión se perdió en especulaciones gratuitas. Braithwaite quiso saber si sería legítimo preguntarle a la máquina por lo que había desayunado, en tanto que Jefferson insistió en que, al crear un modelo para el pensamiento real, «la intervención de factores externos, como la preocupación de tener que ganarse la vida o pagar los impuestos u obtener la comida que a uno le gusta», no podía «quedar excluida»[3]. Newman, a su vez, hizo hincapié en las matemáticas puras y afirmó que el escultor Henry Moore había dicho: «Cuando el trabajo es algo más que un ejercicio físico, se producen saltos inexplicables. Aquí es donde interviene la imaginación»[4].

En cuanto a Turing, las respuestas que dio a las preguntas que le hicieron estuvieron teñidas de hastío, quizá por tener que defender sus ideas por milésima vez ante las mismas objeciones. Una vez más, hizo un esbozo de la matemática del aprendizaje de las máquinas. Una vez más, afirmó que la inteligencia no era lo mismo que la infalibilidad. Una vez más, recordó a los oyentes que a veces «una máquina de computar hace cosas bastante extrañas que no esperábamos»[5]. No logró obtener mucho apoyo de Braithwaite, quien tenía la costumbre de salpicar el debate con observaciones inanes que no hacían más que dificultar la tarea de Turing; hubo un momento, por ejemplo, en el que Braithwaite se preguntó si «sería necesario que la máquina pudiera tener rabietas»[6], pregunta más bien pasmosa que Turing esquivó diciendo que él estaría «más interesado en refrenar tales efusiones que en alentarlas»[7].

Como era de esperar, la última palabra la tuvo Jefferson. Un comentario al efecto de que él no estaría dispuesto a creer que una máquina de computar pudiese pensar «hasta que la viese acariciar la pierna de una máquina de computar de sexo femenino»[8], fue eliminado de la retransmisión; con todo, llevó las cosas a una conclusión lo bastante desenfadada como para menoscabar la seriedad de Turing, al asegurar que «ese entrenador viejo y lento, el hombre, es el que tiene las ideas, o al menos eso pienso yo. ¡Sería

divertido escuchar un día, Turing, una conversación, digamos en el Cuarto Programa, entre dos máquinas acerca de por qué los humanos piensan que éstas pueden pensar!»[9]. La transcripción no nos indica si la respuesta de Turing estuvo acompañada de risas.

En conjunto, Turing estuvo bastante deslucido. Y no obstante, si en la BBC no llegó a investir su argumento a favor de la inteligencia artificial con la misma pasión que animaba sus artículos sobre el mismo tema, en parte sólo se debía a que estaba harto de verse colocado a la defensiva. Con anterioridad había abandonado su labor de criptoanálisis para ocuparse de la máquina de encriptamiento de voz Delilah. Luego abandonó el proyecto Delilah para construir el ACE en Teddington, proyecto del que a su vez se fue alejando a medida que la teoría de la inteligencia artificial se apoderaba de su imaginación. Finalmente, a comienzos de la década de los cincuenta, se estaba distanciando de las máquinas en conjunto. Como indicó la señora Turing en sus memorias, desde la infancia su hijo estuvo fascinado por la biología. En Cambridge había debatido las semejanzas entre los circuitos de las máquinas y el cerebro con Peter Matthews; en efecto, todos sus artículos acerca de la inteligencia artificial mencionan la perspectiva de construir una máquina con el cerebro como modelo. Ahora reanudaba aquella fascinante noción desde la perspectiva opuesta.

La pregunta que le preocupaba era elemental: ¿podían construirse modelos matemáticos para los procesos de crecimiento biológico o morfogénesis, según su denominación más técnica? Previamente Turing se había concentrado en investigar si podían diseñarse sistemas mecánicos que reflejasen los procesos del pensamiento humano. Ahora quería saber si la teoría matemática podía proporcionar un fundamento para la investigación fisiológica. Armado con diversas ecuaciones, se adentraba en el territorio de Jefferson, y con la misma osadía que había caracterizado la inoportuna invasión por parte de éste del laboratorio de Manchester con sus baldosas estilo «váter tardío». Y no es que Turing fuera dado a hacer cosas de cara a la galería, como Jefferson; es más, se aseguró de que su modo de abordar la cuestión fuera rigurosa, incluso desconcertantemente, matemática.[1*]

De niño, Turing se había sentido atraído por el crecimiento de las margaritas. Ahora quería averiguar exactamente qué era lo que

había presenciado. Aunque el trabajo nada tenía que ver con el diseño de computadoras, en muchos aspectos representaba un punto culminante más apropiado para su carrera intelectual de lo que lo había supuesto incluso la construcción del ACE. Pues a la postre Turing era más criatura de Hardy que de Von Neumann, lo que significaba que comprender el mundo le importaba más que transformarlo.

Durante las disquisiciones en la BBC, había insistido en que «no le interesaba el hecho de que el cerebro posea la consistencia de las gachas al enfriarse. No queremos decir "Esta máquina es bastante dura, por tanto no tiene cerebro y no puede pensar"» [11]. Con todo, las máquinas duras le habían obsesionado durante años, a medida que asumía la defensa de lo fabricado por el hombre con la misma avidez que Oscar Wilde. Y ahora, de repente, aquí estaba, escribiendo acerca de los procesos «naturales». Lo que viene más al caso, estaba viviendo, por primera vez, algo semejante a la vida «natural» desdeñada por el Maurice de Forster: ser propietario de una casa, ir a trabajar todos los días y emplear a una gobernanta, la señora Clayton, con la que, según escribió su madre:

> Compartía muchas bromas, pues disfrutaba haciéndola reír con anécdotas en las que él salía mal parado. Estaba, por ejemplo, aquella ocasión en la que, habiendo llevado a arreglar su reloj de pulsera, llevaba un pequeño despertador en el bolsillo. De repente, cuando iba a bordo del abarrotado tren con destino a Manchester, la alarma se disparó, sobresaltando a toda la gente que había en el compartimento. Cuando salía a correr, a menudo olvidaba llevar consigo la llave de la puerta de casa, de modo que guardaba una copia cerca del caño de la canaleta del garaje. Un día se le cayó por encima del caño y cayó a tierra, hecho del que informó a la señora Clayton con gran complacencia. [12]

En otras palabras, Turing seguía siendo él mismo, sólo que con domicilio fijo y amigos, entre los cuales había que contar a sus vecinos, el señor y la señora Roy Webb (también le tenía mucho cariño a su hijo pequeño, Rob), Max Newman y su esposa, la novelista Lyn Newman, Robin Gandy y, quizás el más importante,

Norman Routledge, también del King's College, que era gay y en quien Turing podía, por tanto, confiar asuntos que se sentía escasamente inclinado a airear delante de los demás, pues su vida erótica, si no precisamente floreciente, parecía al menos haberse convertido en un asunto menos deprimente de lo que había sido con anterioridad. Aunque su traslado a Manchester había aguado un tanto su relación con Neville Johnson, viajaba con frecuencia a Europa (en una ocasión a Noruega, y a Francia en varias). El código napoleónico —que no criminalizaba las relaciones sexuales entre varones— suponía que mientras estaban «en el extranjero», los ingleses podían disfrutar de una muy necesitada tregua de la aureola de inquietud y culpa que seguía adherida al sexo homosexual en Gran Bretaña. El continente le ofrecía a Turing la oportunidad de entregarse a devaneos eróticos sin temor a las repercusiones y, al ir en pos de esta libertad, aunque sólo fuera por unos días cada vez, se comportaba como un representante típico de su generación.

Con eso no quiero decir que limitase sus exploraciones a Europa. También en Manchester disfrutaba de alguna aventura o lío esporádico. Una de ellas comenzó en enero de 1952, en torno a la misma época en que la BBC retransmitió su debate con Jefferson, cuando se ligó a un muchacho de diecinueve años llamado Arnold Murray a la salida del Regal Cinema [13]. Como muchos jóvenes de clase trabajadora de la época, Arnold se hallaba a la vez subalimentado y más o menos sin un céntimo; tampoco era insólito que un muchacho que se encontraba en su posición obtuviese un poco de dinero extra yéndose detrás de los arcos de la estación de ferrocarril con un hombre mayor. Y no obstante, parece que ambos aspiraran a algo más que eso. En consecuencia, Turing llevó a Arnold a comer y luego le invitó a pasar aquel fin de semana en su casa. Arnold aceptó la invitación, pero nunca apareció. Volvieron a encontrarse en Manchester el lunes siguiente y en aquella ocasión Turing le propuso que le acompañase a casa de inmediato. Arnold aceptó. Visitó a Turing por segunda vez aquel mes, para cenar y (aparentemente) pasar la noche. Luego Turing le envió una navaja como regalo.

Hubo alguna confusión de tipo pecuniario. Puesto que no quería ser tratado como un prostituido, Arnold rechazó los intentos de

Turing de pagarle con dinero. Después Turing descubrió que le faltaba dinero de la cartera. Arnold negó tener nada que ver con ello, pero le pidió un préstamo de tres libras para saldar una deuda. Unos días más tarde solicitó siete libras más, de nuevo, para saldar una deuda. Hubo un breve rifirrafe cuando Turing le preguntó a quién le debía aquel dinero, pero acabó por extenderle un cheque.

Varios días después, la casa de Turing fue allanada. El ladrón —o ladrones— se llevó pertenencias por valor de unas cincuenta libras: ropa, algunos cuchillos de pescado, una navaja de afeitar y un compás, entre otras cosas[14]. Éste llamó a la policía, y dos agentes buscaron huellas dactilares por toda la casa. Después —sospechando que Arnold podría haber tenido algo que ver— Turing consultó al abogado de su vecino, que le aconsejó escribirle a éste una carta sacando de nuevo a colación el asunto del dinero que había faltado de su cartera, recordándole que le debía dinero y sugiriendo que lo mejor sería que no volvieran a verse. En respuesta a la carta, Arnold se presentó en su casa, furioso y amenazando con «lo peor»[15]. La escena fue afín a las que tuvieron lugar entre Maurice y Alec en el British Museum, cuando el guardabosques pobre le dijo al corredor de bolsa burgués: «Zeñó Hall, no se da uzté cuenta de que no le vendría a uzté muy bien que se zupieran cierta coza, ¿verdá?»[16]. Como respuesta, Maurice arremete contra él de esta guisa: «Como que existe Dios, si llegas a hablar de mí… acabo contigo. Puede que me costara cientos de libras, pero las tengo y la policía siempre respalda a la gente como yo frente a los de tu calaña»[17]. El caso es que si Turing dio por supuesto que la policía respaldaría a los de su condición frente a los de la de Arnold, estaba pero que muy equivocado.

En *Maurice*, la amenaza de chantaje es el preludio de una reconciliación: Alec se echa atrás y los amantes se recogen en un hotel. Algo semejante sucedió en las afueras de Manchester. En primer lugar, Arnold, tras rescindir su amenaza, confesó, admitiendo que había presumido de su aventura con Turing ante un joven llamado Harry, que a su vez propuso robar a éste. Según dijo Arnold, él se negó a tener nada que ver con aquello. Aun así, es posible que Harry decidiera seguir adelante por su cuenta. La confesión desembocó, como en *Maurice*, en la atenuación de las diferencias, en la ternura y en el sexo. Arnold prometió que trataría

de recuperar los bienes robados y, en efecto, unos días más tarde, informó a Turing de que ya había tenido cierto éxito a la hora de dar con ellos. Pero para entonces era ya demasiado tarde, pues la policía había regresado, no para informar a Turing acerca de los progresos de la investigación sino para decirle que «lo sabían todo»[18] acerca de su relación con Arnold. Habían sumado dos y dos y ahora, en lugar de detener al ladrón, detuvieron a su víctima. La acusación era de ultraje a la moral pública en compañía de otro varón: el mismo delito por el que Oscar Wilde había sido condenado y encarcelado más de cincuenta años antes.

2

Lo poco que le quedó de vida a Alan Turing tras su detención fue un lento y triste descenso hacia el dolor y la locura. Juzgado por atentado a la moral, fue «sentenciado» —en lugar de enviado a prisión— a someterse a un tratamiento de estrógenos con objeto de «curarle» de su homosexualidad. Las inyecciones de estrógenos tuvieron el efecto de una castración química; peor aún, tenían humillantes efectos colaterales. El esbelto corredor engordó y le salieron pechos. Pese a todo aquello siguió trabajando, manteniéndose en la brecha con la resistencia que hubo de adquirir en Bletchley. Cuando, por ejemplo, Norman Routledge le escribió en febrero preguntándole por empleos en los servicios de inteligencia, le respondió: «No sé realmente nada de estos empleos, salvo el que tuve durante la guerra, y desde luego ése no llevaba aparejado el viajar. Creo que aceptan a los reclutas… No obstante, en la actualidad no me encuentro en un estado en el que logre concentrarme bien, por razones que detallo en el siguiente párrafo»[19].

¡Y qué ejercicio de autocontrol el dar una respuesta tan despreocupada a la pregunta de Routledge antes de dar la mala noticia!

> Me he metido en la clase de lío que siempre he considerado muy posible que me acaeciera, aunque solía [ilegible] en torno a 10:1 en contra. Dentro de poco me declararé culpable de un delito sexual con un joven. La historia de cómo se descubrió todo es larga y fascinante, y algún día tendré que narrarla en forma de relato corto, pero ahora mismo no tengo tiempo de contártela. Sin duda saldré de todo esto hecho una persona muy distinta; lo que aún no he descubierto es exactamente quién.

La carta concluye así:

> Me alegro que te gustara la emisión. No obstante, J. me decepcionó bastante. Temo que en el futuro haya quien recurra al siguiente silogismo:
>
> Turing cree que las máquinas piensan
> Turing yace con hombres
> Luego las máquinas no piensan

La misiva está firmada, «afligido, Alan».

Ahora era impensable que volviese a trabajar jamás en proyectos gubernamentales de criptoanálisis, a pesar de que recientemente Hugh Alexander se hubiese dirigido a él precisamente en ese sentido. Era un peligro para la seguridad. Desde la deserción de Guy Burgess en 1951, el mito del traidor homosexual había ido ganando fuerza, tanto en la prensa popular como en los centros de gobierno. Tampoco Forster había sido de ayuda al escribir su ensayo «What I Believe», en el que decía que si tenía que elegir entre traicionar a su país y traicionar a su amigo, esperaba tener el valor de traicionar a su país. Si ahora la policía seguía a Turing e incluso trataba de impedir que abandonara el país, no era sólo para atormentarle; también era por temor a que decidiera traicionar a su país entregando la información secreta de la que tenía conocimiento a un agente del enemigo que se hiciera pasar por amigo. A la policía no le importaba que Turing fuese genuinamente apolítico. Para ellos él no representaba nada y, tras haberle castrado químicamente, ahora lo castraban moralmente, despojándole no sólo de su libertad de movimiento, sino también de su libertad de sentimiento. En

efecto, quizá fuera porque se sentía tan castrado que, en una segunda carta escrita a Norman Routledge —ésta un año después— optó por emplear un tono deliberadamente afeminado, prácticamente ausente de su correspondencia anterior:

> La próxima vez que nos veamos tengo una historia maravillosa que contarte acerca de mi azarosa vida. He tenido otro *round* con los gendarmes, y no hay duda de que este segundo *round* se lo ha anotado Turing. La mitad de la policía del norte de Inglaterra (según un informe) estuvo tras la pista de un presunto novio mío… la virtud intachable y la castidad guiaron todos nuestros pasos. Pero ellos, los pobres, nunca lo supieron. Un levísimo beso al pie de una bandera extranjera, bajo el influjo de unas copas, fue todo lo que llegó a ocurrir… ha sido muy injusto para el inocente muchacho, me temo. Te lo contaré todo con pelos y señales cuando en marzo nos veamos en Teddington. Dado que me hallo en libertad provisional, hice gala de una tremenda y resplandeciente virtud; tenía que hacerlo. Si llego a aparcar mi bicicleta del lado equivocado de la carretera podrían haberme caído doce años. Por supuesto, la policía va a mostrarse aún más entrometida, de modo que la virtud ha de seguir inmaculada. **[20]**

Turing concluye diciéndole a su amigo que podría «tratar de obtener un empleo en Francia». También le confiesa que ha comenzado a psicoanalizarse. La carta está firmada, «besos, Alan».

El psicoanalista era el doctor Frank M. Greenbaum. Quizá bajo la influencia de éste, Turing escribió —o al menos comenzó a escribir— el relato corto que le había mencionado a Norman Routledge. Aquí se bautizaba a sí mismo como Alec Pryce (quizás el uso del apellido del físico Maurice Pryce fuera una coincidencia), un científico que se le parece en todo salvo que, en lugar de diseñar computadoras, su especialidad son los «viajes interplanetarios». Del mismo modo que Turing es el padre de la máquina de Turing, Alec es el arquitecto de algo denominado la boya de Pryce, cabe suponer

que una especie de satélite o de nave espacial:

> Alec siempre sentía orgullo cuando alguien empleaba aquella frase. También le complacía mucho su descarado doble sentido. **[2*]** Siempre le gustaba exhibir su homosexualidad y, en compañías apropiadas, Alec fingía que la palabra se escribía sin «u». Había pasado ya bastante tiempo desde que hubiese «poseído» a nadie; de hecho, no desde que había conocido a aquel soldado en París el verano pasado. Ahora que su artículo estaba terminado era justo que considerase que se había ganado otro varón homosexual, y sabía dónde podía encontrar uno que quizá resultara indicado. **[21]**

Como Turing, Alec tiene la costumbre de «hablar sin comedimiento con los periodistas o en el Tercer Programa». Al igual que Turing, también era bastante desaseado, vistiendo «una vieja americana y unos pantalones de estambre sin planchar». Se percibe la voz del doctor Greenbaum en el trasfondo del análisis de sus costumbres indumentarias que viene a continuación:

> No le gustaba llevar traje; prefería el «uniforme del estudiante universitario», que hacía juego con su edad mental y le animaba a creer que seguía siendo un joven atractivo. Este desarrollo atrofiado se delataba también en su trabajo. Todos los hombres que no estaban considerados como potenciales parejas sexuales eran correligionarios del mundo académico ante los que Alec tenía que exhibir a todas horas sus proezas intelectuales. **[22]**

Cuando comienza el relato, Alec se encuentra haciendo las compras navideñas. También, es de suponer, anda al acecho del «varón homosexual» que siente que se ha «ganado», y en este punto la perspectiva del relato pasa de forma un tanto brusca a la de «Ron Miller», el doble de Arnold. Ron, según se nos dice:

> Llevaba dos meses sin trabajo y no tenía un céntimo. Debería haber sacado diez chelines o así por aquel

> trabajito con el que le había echado una mano a Ernie. Lo único que tenía que hacer era distraer al vigilante nocturno dándole conversación durante unos minutos mientras los demás remataban la faena. Seguía siendo, no obstante, algo muy poco seguro. **[23]**

Además, Ron tiene «mucha hambre y frío en aquel mes de diciembre» **[24]**. Y, por lo visto, no está predispuesto en contra de intercambiar sexo por dinero contante y sonante:

> Si se dejaba llevar bajo los arcos durante diez minutos podría sacarse cuatro chelines. Los hombres no parecían tan interesados como un año antes del accidente [de Ron]. Por supuesto, no era lo mismo que hacerlo con una chica, en absoluto, pero si el tipo no era demasiado viejo no era desagradable. Ernie le había contado como sus tipos le hacían el amor igual que si él fuera una muchacha, ¡y le decían cada cosa! Pero aquellos tipos eran de alto copete. Ernie, con sus [ilegible] de mariquita y su carita de muñequita podía pescarlos con tanta facilidad como [ilegible]. Por lo visto al muy cerdo le gustaba, además. ¡Le oí [ilegible] presumir de ser incapaz de hacer nada con una chavala cuando era ella la que le pagaba a él!

Cabe suponer, por tanto, que Ron se considera a sí mismo situado en una clase distinta a la de Ernie, «el muy cerdo», al igual que Arnold se consideraba a sí mismo situado en una clase distinta a determinados amigos suyos, tales como «el muy cerdo» de Harry quizá. No obstante, está al acecho y se fija en que Alec le observa:

> Aquel tipo que daba vueltas en torno al lugar le había echado una mirada bastante significativa… Ahí venía otra vez. Esta vez Ron se le quedó mirando; Alec siguió caminando y volvió a dar una vuelta por el solar. Ahora no cabía duda de qué era lo que quería, aunque no parecía tener los arrestos suficientes. Mejor sería darle un poco de ánimos si volvía a pasar. Ya venía. Ron captó la mirada de Alec y le dedicó una sonrisa poco

> entusiasta. Con eso bastó. Alec se aproximó al banco del parque; Ron le hizo sitio y tomó asiento. No parecía ir demasiado bien vestido. ¡Vaya un gabán! ¿Por qué no decía nada? ¿Se habría equivocado? No, le estaba echando una mirada furtiva… Como no anduviese con cuidado, de aquello no sacaría nada en limpio. **[25]**

En ese momento, Ron le pregunta a Alec si lleva tabaco. Y da la casualidad de que así es, aunque esto es algo que requiere cierta explicación:

> No fumaba, porque cuando lo hacía no tenía suficiente control y además no le sentaba demasiado bien. Pero sabía que si «congeniaba» le harían falta unos pitillos.
>
> —¿Tienes algo que hacer esta tarde? —le preguntó Alec de sopetón.
>
> Era una forma habitual de iniciar el intercambio. Un poco brusca, sin duda, pero no se le había ocurrido nada mejor: de todas formas, la brusquedad tendía a prevenir los malentendidos. Aquel tipo le valdría. No es que fuera un bellezón, pero tenía cierto atractivo. Los indigentes no pueden permitirse ser exigentes. Sacudió la cabeza.
>
> —Ven a comer conmigo. **[26]**

Los indigentes no pueden permitirse ser exigentes. Lo más triste de este refrán es la contundencia con que la necesidad de la conexión forsteriana desdibuja las normas de conducta, la clase, la memoria (del idealizado Morcom) e incluso la autoestima. Y no sólo para Alec, sino también (aunque en menor medida) para Ron:

> —Me parece muy bien —dijo Ron.
>
> No le iban las formas de hablar afectadas. De todas formas, venía a ser lo mismo. La cama es la cama, te metas en ella como te metas. Alec veía la cosa de otro modo, y guardó silencio durante un par de minutos mientras se dirigían a Grenkoffs [?]. Ahora, por lo menos en lo tocante a la comida tenía que cumplir. Ron se había mostrado muy claro al respecto, además. Tenía

> la comida asegurada. No estaba seguro de si luego haría algo o no. A lo mejor podía sacarle algo sin tener que hacerlo. [27]

En el restaurante, sin embargo, Ron queda demasiado deslumbrado cuando «un portero le abre a uno la puerta para que pase el primero, como si fuera una muchacha [28] », como para fijarse en exceso en Alec. Al contrario, su atención se encuentra «concentrada por entero en el restaurante y su boato», lo cual alegra a Alec: «Normalmente, cuando iba a un restaurante se sentía cohibido, ya porque estuviera solo ya porque lo que estuviera haciendo no fuera lo correcto. Ron no…».

Y aquí se interrumpe el relato. Nunca sabremos lo que pasará con Ron y Alec. Permanecen para siempre al borde de la posibilidad —quizá de una posible felicidad— sin que ésta se vea empañada por las tinieblas que pronto descenderían sobre su creador y destruirían su vida.

3

La señora Clayton, su gobernanta, halló el cadáver de Alan Turing en su cama en la mañana del 8 de junio de 1954. Al lado había una manzana a la que le faltaban varios bocados.

—Ya se habrá enterado de la noticia de la muerte del señor Alan —le escribió ésta a su madre. [29]

> Fue una sorpresa terrible. No sabía qué hacer, de modo que fui corriendo a casa de la señora Gibson; ella llamó a la policía; no me dejaron tocar ni hacer nada, y no recordaba la dirección de usted. Había estado fuera durante el fin de semana y había llegado aquella noche, como de costumbre, a prepararle la comida. Vi que la luz de su dormitorio estaba encendida y que las cortinas no habían sido corridas, que había leche en el

> rellano de la escalera y un periódico junto a la puerta, así que pensé que habría salido temprano y se habría olvidado de apagar la luz. De modo que fui y llamé a la puerta de su dormitorio. No obtuve respuesta, así que entré. Le vi en la cama. Debió fallecer durante la noche. La policía ha vuelto a venir esta noche para que haga una declaración.

Después añadía:

> El señor y la señora Gibson vieron pasear al señor Alan el lunes por la tarde, en ese momento estaba perfectamente. El fin de semana anterior había invitado a W [sic] Gandy a pasar el fin de semana y al parecer lo pasaron estupendamente. Luego, el martes vinieron a cenar el señor y la señora Webb y el día que ella se mudó la señora Webb tomó el té con él por la tarde.

A la señora Clayton, la posibilidad de que Turing hubiese cometido suicidio se le antojó lo bastante inconcebible como para que adujera pruebas en sentido contrario (aunque no tanto como para que no sintiese la necesidad de mentarla). No obstante, la conclusión de la investigación, que tuvo lugar el 10 de junio, fue que Turing había puesto fin a su propia vida. Por lo visto, la manzana había sido rociada en una solución de cianuro.

En los años que siguieron a su muerte, muchos de los amigos de Turing se embarcaron con su madre en una especie de conspiración para propagar el mito de que su muerte no se debió al suicidio sino a un experimento científico fracasado. Para tramar esta historia, recurrieron a las existencias de productos químicos (el cianuro de potasio entre ellos) que guardaba en casa, así como a su colección de aparatos científicos. Por ejemplo, el doctor Greenbaum, el psicoanalista, le escribió a la señora Turing:

> Para mí no cabe la menor duda que Alan murió por accidente. Usted ha descrito las formas de experimentación de Alan de una forma tan viva que es como si le viera haciendo esto y aquello. Cuando experimentaba era como un niño; no siempre se

> limitaba a fijarse visualmente en lo observado [ilegible] sino que también lo toqueteaba… [C]uando murió jamás estuvo más lejos del suicidio que en ese momento. **[30]**

De igual modo, su vecina, la señora Webb, le contó a la señora Turing que a ella le resultaba

> difícil casar el veredicto del forense con la conducta de Alan antes de que dejásemos Park Villa el día 3 de junio. El 1 de junio nos invitó a cenar y pasamos una velada maravillosa con él. Le vi varias veces durante los dos días siguientes, y el día que nos mudamos me invitó a tomar una taza de té. Preparó unas tostadas y las tomamos sobre la mesa de la cocina. Fue una reunión muy alegre, a la que se sumó la señora Clayton cuando llegó. Alan tenía muchos planes de venir a hacernos una visita en Styal de camino a casa desde la universidad por las tardes, y no puedo creer que en ese momento tuviese idea alguna de lo que acabaría por hacer. Debió de venírsele a la cabeza de forma muy repentina. **[31]**

Hugh Alexander, todavía en pleno psicoanálisis, le escribió a la señora Turing lo siguiente:

> Puedo confirmar lo que dice usted acerca del buen estado de ánimo del que gozaba últimamente; aproximadamente un mes antes de su muerte, recibí una carta suya en la que me decía que se estaba sometiendo a tratamiento, que sentía que le estaba haciendo bien y que se encontraba de mejor ánimo de lo que [censurado] **[3*]**. Por eso mismo quedé completamente horrorizado cuando leí acerca de lo sucedido y me alegra mucho saber que bien podría tratarse de un accidente. **[32]**

En fecha tan tardía como 1960, la señora Turing aún recopilaba pruebas que apoyasen su versión de los hechos. La siguiente carta la

envió el antiguo colega de Turing, W. T. Jones, en la actualidad profesor de filosofía de la Universidad de Pomona, en California:

> Si se me permite decirlo, creo que todas las pruebas —tanto positivas como negativas— tienden a sustentar su opinión acerca de las circunstancias que rodearon a su muerte. Por «negativas» quiero decir que no pienso que Alan fuese la clase de persona que pondría fin a su propia vida. Por «positivas» quiero decir que era la clase de persona que se mostraba descuidado (o más bien poco atento) a los aspectos peligrosos de los experimentos que realizaba. **[33]**

Resulta interesante que ninguno de los amigos de Turing parece haber tenido en consideración, al menos por escrito, una tercera posibilidad (de la cual, admitámoslo, no existen pruebas, al menos de momento): a saber, que el suicido fuera una puesta en escena y que el hombre del traje blanco se hubiese convertido —como el héroe de la película de Hitchcock de 1934— en un hombre que sabía demasiado.

Si se mató él mismo, por lo visto debía pensar que iba a alguna parte. Recuérdese que en el relato sin título, Alec Pryce es una autoridad en materia de viajes interplanetarios. En marzo de 1954, pocos meses antes de su muerte, Turing envió a Robin Gandy una sucesión de cuatro postales crípticas. La primera se perdió. Las otras tres consistían en una lista de aforismos enumerados con el título colectivo *Mensajes del mundo oculto*:

> III. El universo es el interior del cono luminoso de la creación
> IV. La ciencia es una ecuación diferencial. La religión es una condición de frontera. (sgd) Arthur Stanley **[4*]**
> V. Hiperboloides de luz maravillosa Navegando a través del tiempo y del espacio.
> Albergar esas olas que de algún modo podrían quizá
> Interpretar la maravillosa pantomima de Dios.
> VI. Las partículas son fuentes
> VII. Carga $= e/\pi$ de carácter de una rotación 2π
> VIII. El principio de exclusión está expuesto puramente

> para beneficio de los propios electrones, que podrían verse corrompidos (y convertirse en demonios o en dragones) si se les permitiese asociarse con demasiada libertad [34]

Otros matemáticos igual de grandes que Turing acabaron sus vidas sumidos en la locura: ése fue el caso de Cantor, y también el de Gödel. Quizá Turing empezó a delirar a su vez hacia el final, y se imaginó navegando por el espacio en una «hiperboloide de luz maravillosa» conocida como la boya de Price. O quizá, como había pensado Gandy, todo aquello formaba parte de «una nueva mecánica cuántica… la cual no pretendía ser tomada demasiado en serio (casi en la categoría "sólo para divertirse") aunque sin duda esperaba que en algún momento de ella surgiera algo que pudiera tomarse en serio» [35]. O quizá la nueva mecánica cuántica llevase aparejada manzanas, conos luminosos y naves espaciales. En la *Apología de un matemático*, Hardy había escrito: «Ningún matemático debería permitirse jamás olvidar que las matemáticas, más que ningún otro arte o ciencia, son el dominio de los jóvenes» [36]. Y Turing, no obstante, de acuerdo con Gandy, no había perdido sus poderes; en efecto, en los meses previos a su muerte, había hallado un límite superior para el número de Skewes, inferior al que había establecido el propio Skewes. Aquello habría sido un logro muy significativo de haber optado por publicarlo. Sin embargo, no lo hizo: decía que no quería poner a Skewes en evidencia.

La idea del suicidio, si se le ocurrió en absoluto, tuvo que ocurrírsele de forma repentina. El método, por otra parte, parece haberlo albergado en algún rincón de su mente durante años. Por ejemplo, desde Princeton le dijo su amigo James Atkins a Hodges, Turing había escrito una vez una carta proponiéndole un método de suicidio que «requería una manzana y cableado eléctrico» [37]. A menudo les contaba a sus amigos que todas las noches antes de acostarse se comía una manzana. Y claro está, en Cambridge, durante semanas después del estreno de *Blancanieves y los siete enanitos*, canturreaba mientras bajaba por el pasillo del King's

> *Dip the apple in the brew*

Let the sleeping death seep through…

(«Sumerge la manzana en el brebaje / Y deja que el sueño de la muerte la ultraje»).

En la actualidad la fascinación por la manzana sigue presente. Se habla mucho de las connotaciones metafóricas de la misma. (Manzana de la muerte, manzana del saber… ¿exceso de saber?). En internet circula un rumor según el cual la manzana del logo de Apple Computers es un guiño a Turing. La compañía niega que exista relación alguna. Al contrario, insiste en que su manzana es una alusión a Newton. Pero en tal caso, ¿por qué le falta a ésta un bocado?

Quizá lo que nos aterra sea que Turing optó por echar mano de una mezcla de inocencia y banalidad, de un cierto *camp*, al quitarse la vida, rodeando su despedida de un mundo que le había tratado mal con algo de la brillantez colorista, gótica y fantasmagórica de una película de Disney. Y no obstante, en todas las páginas que he leído acerca de él —y son legión— nadie ha mencionado aún lo que para mí parece ser el mensaje más obvio: en el cuento de hadas, la manzana que muerde Blancanieves no la mata; sólo la deja dormida hasta que el príncipe la despierta con un beso.

DAVID LEAVITT (Pittsburgh, Pensilvania, 23 de junio de 1961) licenciado por la Universidad de Yale. Autor de numerosas novelas y cuentos caracterizados por su temática homosexual. Autor de gran éxito, en España su obra narrativa está publicada por entero por la editorial Anagrama. Su novela *Junto al pianista* (título original: *The Page Turner*) fue adaptada al cine por el director catalán Ventura Pons con el título *Food of Love / Manjar de amor*.

En 1994, Leavitt se enfrentó a una acusación de plagio a causa de su novela *Mientras Inglaterra duerme*. La presentó Stephen Spender, quien acusó a Leavitt de copiar su propia autobiografía: *Un mundo dentro del mundo*, editada en España por Muchnik Editores. La obra, efectivamente muy similar a la propia vida de Spender, narraba la historia de un escritor británico que, en los años 30, tiene una relación homosexual con un obrero comunista y termina alistándose en las Brigadas Internacionales y luchando en la Guerra Civil española. Leavitt acabó admitiendo que el libro de Spender, en efecto, le había servido de inspiración. Actualmente Leavitt es profesor en la Universidad de Florida, donde imparte un taller literario.

Notas

1. El hombre del traje blanco

[1*] A este respecto, corresponde a Martin Davis el mérito de haber puesto las cosas en su lugar. < <

[1] E. M. Forster, *Maurice* (…). < <

[2] Turing Archive, King's College, Cambridge, AMT/D/14.[a]. < <

[3] Lyn Irvine, prólogo a Sara Turing, *Alan M. Turing* (Cambridge: W. Heffer, 1959), x. < <

[4] Ibíd., xi. < <

2. Ver crecer las margaritas

[1*] «Primero has de ver que la luz es correcta». *(N. del T.)*. < <

[2*] «A Turing le gusta el campo de fútbol, pues en la línea de banda reside la solución a los problemas de geometría». < <

[3*] Término compuesto por las palabras *grease* (grasa) y *icicle* (carámbano). *(N. del T.)*. < <

[4*] Witches’s brew. < <

[5*] Por casualidad, P. N. Furbank, el biógrafo de Forster, sería nombrado albacea literario de Turing. < <

[6*] En la cita completa, Clive piensa para sí que Maurice es «burgués, torpe y estúpido». < <

[7*] La famosa regata que enfrenta todos los años a la Universidad de Oxford —los Dark Blues— contra la Universidad de Cambridge —los Light Blues—. *(N. del T.)*. < <

[8*] Sus amistades más íntimas fueron con Kenneth Harrison, Fred Clayton (que más tarde escribiría una novela protohomosexual, *The Cloven Pine*, bajo el pseudónimo de Frank Clare) y James Atkins. Fue con Atkins con quien mantuvo la prolongada e intermitente relación sexual, acerca de la cual albergaba sentimientos ambivalentes, dado que Atkins, en su opinión, no estaba a la altura del desaparecido Christopher. **[31]** < <

[9*] Quizá Keynes esté aludiendo aquí a la observación de Hardy según la cual «parecería, de acuerdo con la teoría de Russell, que si puede determinarse que Edward es el padre de George, debería poder determinarse de igual modo que Edward es el padre del color azul». **[35]**. < <

[10*] «Turing debía tener mucho gancho para que le hicieran titular de forma tan prematura». < <

[11*] En castellano, problemas de decisión. (*N. del T.*). < <

[12*] En *Infinity and the Mind*, Rudy Rucker describe una visita que realizó a la famosa Bocca della Verità en Roma, una tapa de desagüe romana tallada para asemejarse a un rostro con la boca abierta. De acuerdo con la leyenda, cualquiera que meta la mano en la boca y diga una mentira no podrá volver a sacarla. Rucker metió la mano en la boca y dijo: «No podré volver a sacar la mano» **[44]**. <<

[13*] En el «álgebra de Boole», + y − dan paso a preposiciones. Uno de los principales progresos en el diseño de ordenadores se produjo cuando los investigadores se dieron cuenta de que podía lograrse que los interruptores, que tienen sólo dos estados —encendido y apagado— se correspondieran con las operaciones que constituyen el meollo de la aritmética binaria: 0 y 1, verdadero y falso. < <

[14*] Quizá valga la pena señalar aquí que Frege no fue un personaje muy agradable. Por citar al filósofo Michael Dummett, fue «un racista virulento, concretamente un antisemita… hombre de opiniones de extrema derecha, amargamente opuesto al sistema parlamentario, los demócratas, los liberales, los católicos, los franceses y sobre todo a los judíos, que según él debían ser despojados de sus derechos políticos y, a ser posible, expulsados de Alemania»[50]. <<

[15*] Los números cardinales son los sustantivos de las matemáticas (1, 2, 3…), mientras que los números ordinales (1º, 2º, 3º…) son los adjetivos. < <

[16*] John Kemeny describió los *Principia Mathematica* como «una obra maestra debatida por casi todos los filósofos y que casi ninguno ha leído» **[55]**. < <

[17*] Sobre este comentario G. H. Hardy agregó con ironía: «Lo peor que pueda suceder es que tengamos que mostrarnos un poco más exigentes en materia indumentaria» **[72]**. < <

[18*] En la colección *Grandes descubrimientos* publicada por Antoni Bosch editor, se puede encontrar una biografía de Kurt Gödel escrita por Rebecca Goldstein. *(N. del E.)*. < <

[19*] El teorema fundamental de las matemáticas declara que cualquier número entero positivo puede ser representado sólo de una manera como producto de números primos. < <

[20*] La conjetura de Goldbach —que sigue sin ser demostrada a fecha de hoy— fue el objeto, no sólo de una novela de 1992, *El tío Petros y la conjetura de Goldbach*, Apostolos Dioxadis, [Ediciones B, Tiempos Modernos, Barcelona 2002, trad. M.ª Eugenia Ciocchini], sino de una campaña de marketing por parte de los editores estadounidenses y británicos de la novela, Faber & Faber y Bloomsbury USA respectivamente, la cual ofrecía un millón de dólares a cualquiera que pudiese hacer lo que el tío Petros de la novela no pudo: aportar una demostración. No era una apuesta particularmente arriesgada por parte de los editores, y nadie ganó. <<

[1] S. Turing, *Alan M. Turing*, 11. «quockling»: ibíd., 13. < <

[2] Turing Archive, AMT/K/49, dic. 1936. < <

[3] S. Turing, *Alan M. Turing*; 15. < <

[4] S. Turing, *Alan M. Turing*; 17. < <

[5] S. Turing, *Alan M. Turing*; 19. < <

[6] S. Turing, *Alan M. Turing*; 11. < <

[7] Ibíd., 21. < <

[8] E. M. Forster, *El más largo viaje (…).* < <

[9] S. Turing, *Alan M. Turing*, 27. < <

[10] Ibíd., 27. <<

[11] Ibíd., 29. < <

[12] S. Turing, *Alan M. Turing*, 14. < <

[13] Andrew Hodges (New York: Walter, 2000), 232. < <

[14] Quoted Ibíd., 29. < <

[15] Ibíd., 56. < <

[16] Ibíd., 77. <<

[17] S. Turing, *Alan M. Turing*; 35. < <

[18] Citado en Hodges *Enigma*, 35. < <

[19] Graham Robb, *Strangers: Homosexual Love in the Nineteenth Century* (New York: W. W. Norton, 2003), 69. <<

[20] Turing Archive, AMT/K/1/20, 16 feb. 1930. < <

[21] citado en Hodges, *Enigma*, 50. <<

[22] Forster, *Maurice*, 69. <<

[23] citado en Hodges, *Enigma*, 76. <<

[24] Forster, *Maurice*, 185. < <

[25] James Douglas, en el *Sunday Express*, 19 de agosto de 1928; también citado en Hodges, *Enigma*, 77. < <

[26] Hodges, *Enigma*, 74 < <

[27] Ibíd., 75. < <

[28] Forster, *El más largo viaje*, 21. < <

[29] Hodges, *Enigma*, 7. <<

[30] Ibíd., 79. < <

[31] Ibíd., 74-76. < <

[32] John Maynard Keynes, *Two Memoirs* (London: Rupert Hart-Davis, 1949), 82. Supe por primera vez de la existencia de este fascinante libro en la biografía de Hodges, que cita extractos del mismo. < <

[33] Ibíd., 83. < <

[34] Ibíd., 86. <<

[35] G. H. Hardy, «Mathematical Proof», Mind, n. s., 38, 149 (ene. 1929): 23. < <

[36] Ibíd., 86-87. < <

[37] Ibíd., 97-98. < <

[38] Forster, intr. a *El más largo viaje*, lxviii. < <

[39] Hodges, *Enigma*, 69. <<

[40] Forrest Reid, *Prívate Road* (London: Faber and Faber, 1940), 58. < <

[41] Turing Archive, AMT/K/1/23, 31 de enero de 1932. < <

[42] J. L. Britton, «Remarks on Turing's Dissertation», en *Pure Mathematics: The Collected Works of A. M. Turing*, ed. J. L. Britton (Amsterdam: North-Holland, 1992), xix. < <

[43] citado en Hodges, *Enigma*, 94. <<

[44] John L. Casti y Werner DePauli, *Gödel: A Life of Logic* (Cambridge: Basic Books, 2000), 117. < <

[45] Bertrand Russell, «The Study of Mathematics», en *Contemplation and Action, 1902-14*, ed. Richard A. Rempel, Andrew Brink y Margaret Moran (London: George Alien and Unwin, 1985), 90. < <

[46] Martin Davis, *Engines of Logic: Mathematicians and the Origins of the Computer* (New York: W. W. Norton, 2000), 16. < <

[47] Russell, «Mathematics and the Metaphysicians», in *Logicism and the Philosophy of Language: Selections from Frege and Russell*, ed. Arthur Sullivan (Peterborough: Broadview Press, 2003, 224. < <

[48] George Boole, *El análisis matemático de la lógica* (Cambridge: Macmillan, Barclay, & Macmillan, 1847), 6. < <

[49] Gottlob Frege, *Grundgesetze der Arithmetik* (Hildesheim: George Olms, 1962), traducción citada por Richard G. Heck Jr., en «Julius Caesar and Basic Law V», **http://emerson.fas.harvard.edu/heck/pdf/JuliusCaeasarandHP.pdf** < <

[50] Davis, *Engines*, 42. < <

[51] Frege, *Begriffschrift*, en Jean van Heijenoort, *From Frege to Gödel: A Source Book in Mathematical Logic, 1879-1931* (Cambridge: Harvard University Press, 1967), 1. < <

[52] Russell, *Introduction to Mathematical Philosophy* (London: George Alien and Unwin, 1919), 12. <<

[53] Russell, carta a Frege, en van Heijenoort, *Frege to Gödel*, págs. 124-25. < <

[54] Frege, carta a Russell, en van Heijenoort, *Frege to Gödel*, págs. 127-128. < <

[55] Casti y DePauli, *Gödel*, 43. < <

[56] Hardy, «Mathematical Proof», 9. < <

[57] David Hilbert, «On the Infinite», en van Heijenoort, *Frege to Gödel*, 376. < <

[58] Hardy, «Mathematical Proof», 6. < <

[59] Ibíd., 11-12. < <

[60] Ibíd., 14-15. < <

[61] Ibíd., 15. < <

[62] Ernest Nagel y James R. Newman, *Gödel's Proof* (Nueva York: New York University Press, 2001), 28. <<

[63] Jeremy J. Gray, *The Hilbert Challenge* (Oxford: Oxford University Press, 2000), 248. < <

[64] Constance Reid, *Hilbert* (New York: Springer-Verlag, 1970), 196. < <

[65] Gray, *Hilbert Challenge*, 168. <<

[66] Reid, *Hilbert*, 188. <<

[67] Ibíd. < <

[68] «Nazi Kultur: The New Heroic Gospel», *Times* (Londres), 10 de noviembre de 1933; citado también en Hodges, *Enigma*, 86. < <

[69] Hardy, «Mathematical Proof», 6. < <

[70] Hilbert, «On the infinite», 375. <<

[71] Ibíd., 375-76. < <

[72] Hardy, «Mathematical Proof», 5. < <

[73] Primera comunicación pública de Gödel: Robin Gandy, «The Confluence of Ideas in 1936», en *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey*, ed. Rolf Herken, 2nd ed. (Vienna: Springer-Verlag, 1995), 63. <<

[74] Reid, *Hilbert*, 198. < <

[75] Ibíd., 199. < <

[76] Kurt Gödel, «Russell's Mathematical Logic», en *Collected Works*, vol. 2, ed. Solomon Feferman et al. (Oxford: Oxford University Press, 1990), 140-141. < <

[77] Simon Singh, *Fermat's Enigma: The Epic Quest to Solve the World's Greatest Mathematical Problem* (Nueva York: Walker, 1997), 141. <<

3. La máquina universal

[1*] En la lógica simbólica, la lógica de primer orden (también llamado cálculo de predicados de primer orden) consiste en una tesis que comienza con los llamados cuantificadores existenciales y universales (∃…) (∀…). El primero se traduce como «Existe un objeto que…». El segundo «Para todo objeto, se da el caso de que…». < <

[2*] Existe traducción al castellano: *Elementos de lógica teórica*, Hilbert, D., [trad. Sánchez de Zavala, Víctor], Madrid: Editorial Tecnos, 1975. (*N. del T.*). <<

[3*] Hilbert planteó una versión del problema de la decisión, sin embargo, como problema 10 de su famosa conferencia de 1900, cuyo texto está incluido en *El reto de Hilbert, los 23 problemas que desafiaron la matemática*, de Jeremy J. Gray. < <

[4*] Sin embargo, tal como señala Prabhakar Ragde: «un procedimiento de decisión puede no ser eficiente (esto es, podría requerir millones de años en una computadora muy rápida…), y casi con toda seguridad no sería esclarecedor» [7]. < <

[5*] Sigo el ejemplo de Martin Davis a la hora de referirme a computadora como «ella», ya que, como señala Davis, en esos tiempos la mayoría de computadoras eran mujeres. < <

[6*] Robin Gandy cita este fragmento en su fascinante ensayo *The Confluence of Ideas in 1936*. En él también menciona a dos inventores poco conocidos que hicieron propuestas de máquinas calculadoras universales después de Babbage: P. E. Ludgate en 1909 y L. Torres y Quevedo en 1914. Otras personas se refieren a Babbage en obras sobre construir máquinas más prácticas, pero en cada uno de los casos «se pone énfasis en la programación de una secuencia fija e iterable de operaciones aritméticas. No se ha reconocido la importancia fundamental de la iteración condicional y la transferencia condicional de una teoría general de las máquinas calculadoras…». <<

[7*] Sin embargo, en la necrológica de Turing aparecida en el *Times* de Londres, Newman escribió: «La descripción que dio en ese momento de una máquina computadora "universal" era totalmente teórica, pero el interés de Turing por todo tipo de experimentos prácticos hizo que se interesara ya entonces por la posibilidad de construir una máquina de esas características» **[21]**. < <

[8*] Este ejemplo está basado en uno ofrecido por Andrew Hodges en la biografía. < <

[9*] He alterado ligeramente los símbolos originariamente utilizados por Turing. < <

[10*] Turing calcula π como
4[1 -
$$\frac{1}{3}$$
+
$$\frac{1}{5}$$
-
$$\frac{1}{7}$$
+
$$\frac{1}{9}$$
…]
. Calcula e, un número irracional que desempeña un papel muy importante, entre otras cosas en el cálculo de logaritmos naturales, como
1 + 1
$$\frac{1}{2!}$$
+
$$\frac{1}{3!}$$
+ …
Como ya hemos visto antes, los números algebraicos son los números irracionales que solucionan las ecuaciones algebraicas. Las funciones de Bessel son las soluciones a la ecuación diferencial de Bessel:

$$x^2\frac{d^2y}{dx^2} + x\frac{dy}{dx}1 + (x^2 - m^2)y = 0.$$

< <

[11*] Sin embargo, la tesis de Turing no depende de ninguna manera de la utilización de este sistema de codificación. De hecho, otros sistemas de codificación son mucho más económicos. Su sistema de codificación tampoco se limita a estas letras y números en concreto. Por ejemplo, se puede asignar la letra P (y el número 8) al símbolo -, para indicar un número negativo. También puede asignarse la letra Q (y el número 9) al símbolo /, para indicar la línea divisoria entre el numerador y el denominador de una fracción. < <

[1] Börger, E., Grädel, Erich y Gurevich, Y., *The Classical Decision Problem*, Berlín, Springerverlag, 1997, p. 4. < <

[2] Penrose, Roger, *La nueva mente del emperador*; Barcelona, Mondadori, 1991. < <

[3] Como ejemplo de algoritmo: Ibíd. 41-42. < <

[4] Börger et al., *The Classical Decision Problem*, 3n. < <

[5] Hilbert, D. y Ackermann, W., *Principies of Mathematical Logic*, ed. Robert E. Luce, Nueva York, Chelsea, 1950, p. 112. < <

[6] Hardy, *Mathematical Proof* p. 16. < <

[7] Carta al autor. < <

[8] *The Classical Decision Problem*, p. 5. < <

[9] Newman, Max, «Royal Society Memoir», en *Mathematical Logic*, ed., Gandy R.O. y Yates, C. E., Amsterdam, Elsevier, 2001, p. 272. <<

[10] Gandy, prefacio a *Números computables con una aplicación al Entscheidungsproblem*, Ibíd. < <

[11] *Charles Babbage and His Calculating Engine, Selected Writings*, Babbage, Charles, ed. Philip Morrison and Emily Morrison, New York, Dover, 1961, p. 252. < <

[12] Gandy, *Confluence of Ideas in 1936*, p. 55. <<

[13] Turing, Alan, *Números computables con una aplicación al Entscheidungsproblem*, Mathematical Logic. < <

[14] Ibíd. < <

[15] Hodges, *Alan Turing: un filósofo natural*, trad. Bernardo Recamán, Grupo Editorial Norma, Bogotá, 1998. < <

[16] Penrose, Roger, *La nueva mente del emperador*, Barcelona, Mondadori, 1991. < <

[17] Turing, *Números computables con una aplicación al Entscheidungsproblem*. < <

[18] Ibíd. < <

[19] Ibíd. < <

[20] Ibíd. < <

[21] Newman, «Necrológica del Dr. A. M. Turing», *Times*, Londres, 16 de junio de 1954, p. 10. < <

[22] Turing, *Números computables con una aplicación al Entscheidungsproblem*. < <

[23] Ibíd. < <

[24] Ibíd. < <

[25] Ibíd. < <

[26] Ibíd. < <

[27] Ibíd. < <

[28] Ibíd. < <

[29] Ibíd. < <

[30] Ibíd. < <

[31] Ibíd. < <

[32] Ibíd. < <

[33] Ibíd. < <

[34] Ibíd. < <

[35] Ibíd. < <

[36] Kleene, Stephen C, «Turing's Analysis of Computability, and Major Applications of It», *Universal Turing Machine*, p. 17. < <

[37] Turing, *Números computables con una aplicación al Entscheidungsproblem*. < <

[38] Ibíd. < <

[39] Ibíd. < <

[40] Ibíd. < <

[41] Ibíd. < <

[42] Ibíd. < <

[43] Ibíd. < <

[44] Ibíd. < <

[45] Ibíd. < <

[46] Ibíd. < <

[47] Penrose, Roger, *La nueva mente del emperador*; Barcelona, Mondadori, 1991. < <

[48] Kleene, «Turing's Analysis of Computability, and Major Applications of It» p. 30. < <

[49] Penrose, Roger, *La nueva mente del emperador*; Barcelona, Mondadori, 1991. < <

[50] Turing, *Números computables con una aplicación al Entscheidungsproblem*. < <

[51] Ibíd. < <

[52] Ibíd. < <

[53] Ibíd. < <

[54] Ibíd. < <

[55] Ibíd. < <

[56] Ibíd. < <

[57] Ibíd. < <

4. Dios tiene mucha mano izquierda

[1*] Forster, E. M. *La Mansión (Howards End)*. Traducción de Eduardo Mendoza, Madrid: Alianza Editorial, 1981, p. 222. (*N. del T.*). < <

[2*] Como han señalado Casti y DePauli, Turing contribuyó a apoyar los descubrimientos de Gödel al mostrar que «las máquinas de Turing pueden calcular como máximo un conjunto *contable* de números, es decir, un conjunto cuyos elementos puedan situarse en una correspondencia uno-a-uno con un subconjunto de números enteros positivos (los números "con los que se cuenta"). Pero existen de modo incontable muchos números reales; de ahí que lleguemos al resultado posiblemente sorprendente de que la inmensa mayoría de números reales no son computables» **[12]**. <<

[3*] Hodges nos exhorta —con razón— a la cautela en el empleo del término «máquina Turing», indicando que la frase «es análoga a la de “libro impreso” para referirse a una categoría de la que en potencia existen infinitos ejemplos… De nuevo, aunque hablemos de “la” máquina universal Turing, existen infinitos diseños que poseen esta propiedad»**[13]**. < <

[4*] Jacques Herbrand (1908-1931) acuñó el término «efectivamente calcular ble» justo antes de morir en un accidente de esquí a la edad de veintitrés años. Según Church, el trabajo que él mismo coordinó en colaboración con Kleene y Rosser tenía su origen en las conferencias sobre la función recursiva general impartidas por Gödel en Princeton en 1934, las notas de las cuales fueron tomadas por Kleene y Rosser. Casti y DePauli nos ofrecen una buena definición de la función recursiva, a la que denominan «una función para la cual existe una regla mecánica para la computación de los valores de la función a partir de valores previos, uno tras otro, a partir de algún valor inicial» **[18]**. < <

[5*] Post, que de niño perdió un brazo a consecuencia de un accidente, probablemente fuese maníaco-depresivo. Falleció en 1954, a la edad de cincuenta y siete años, tras sufrir un infarto durante una sesión de terapia a base de electrochoques. Tenía una manera muy insólita de entender las matemáticas, que enfatizaba la psicología y la intuición. < <

[6*] La broma —que se extendía a otros matemáticos prominentes de Princeton— sigue así: «Si Weyl dice que es obvio, Von Neumann puede demostrarlo. Si Lefschetz dice que es obvio, es falso». < <

[7*] Resulta interesante que los nombres de ambos permanezcan todavía en circulación, aunque en la actualidad la tesis suela conocerse como la «tesis Church-Turing». < <

[8*] Maurice Pryce (1913-2003), físico y profesor en Oxford. < <

[9*] El término inglés para «galleta» es *biscuits. (N. del T.)*. < <

[10*] Literalmente, «Es usted bienvenido», equivale a «De nada». (*N. del T.*). <<

[11*] Aunque George David Birkhoff (1884-1944) estaba considerado como uno de los máximos matemáticos de su tiempo, era también, en palabras de Einstein, «uno de los máximos antisemitas del mundo», que de forma sistemática impidió el acceso de los judíos a su departamento en Harvard. < <

[12*] Un número complejo se define como la combinación de un número real y uno de los denominados números imaginarios. Un número imaginario es, sencillamente, la raíz cuadrada de un número negativo, imaginario porque cualquier número, positivo o negativo, cuando se multiplica por sí mismo, da un resultado positivo. Por ello la raíz cuadrada de -1 no puede existir, y es «imaginaria». La raíz cuadrada de -1 —la base de todos los números imaginarios— se denomina i. Del mismo modo, la raíz cuadrada de -4 es 2i la raíz cuadrada de -9 es 3i, etc. Dado que combinan números reales e imaginarios, los números complejos se expresan como $3 + 6i$, $-2.547 - 1.34i$, etc. $<<$

[13*] Existe trad. española: *Autojustificación de un matemático*, Editorial Ariel, S. A., 1981, y *Apología de un matemático*, Nivela Libros y Ediciones, 1999. < <

[14*] De acuerdo con Kleene, «sólo después de que apareciera la formulación de Turing aceptó Gödel la tesis de Church, que para entonces había pasado a denominarse la tesis Church-Turing» **[64]**. <<

[1] M. H. A. Newman, «Royal Society Memoir», 272. <<

[2] Hodges, *Enigma*, 108. <<

[3] Turing Archive, AMT/C/29, 31 de enero, 1934. < <

[4] Ibíd. < <

[5] Ibíd. < <

[6] Forster, *Howards End* (London: Penguin Books, 1983), 188. < <

[7] Keynes, *Ensayos biográficos*, 83. <<

[8] Turing, «Números computables», *Mathematical Logic*, 47. < <

[9] Casti y DePauli, *Gödel*, 71-72. < <

[10] Hao Wang, *From Mathematics to Philosophy* (London: Routledge and Kegan Paul, 1974), 9. < <

[11] Solomon Feferman, «Historical Introduction», *Mathematical Logic*, 3-4. < <

[12] Casti y DePauli, *Gödel*, 108. <<

[13] Hodges, *Natural Philosopher*, 18. <<

[14] Turing Archive, AMT/K/1/40, 29 de mayo, 1936. < <

[15] Citado en Hodges, *Enigma*, 112. < <

[16] Newman, «Royal Society Memoir», 269. < <

[17] Gandy, «Confluence of Ideas in 1936», 78. < <

[18] Casti y DePauli, *Gödel*, 81. < <

[19] Emil Post, «Finite Combinatory Processes: Formulation 1», en *The Undecidable: Basic Papers on Undecidable Propositions, Unsolvable Problems and Computable Functions*, ed. Martin Davis (Mineola, N.Y.: Dover, 1993), 289. < <

[20] Gian-Carlo Rota, «Fine Hall in Its Golden Age: Remembrances of Princeton in the Early Fifties», **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmcxrota.htm**, 1. < <

[21] Entrevista de William Aspray con Albert Tucker, 13 de abril de 1984, «Mathematical Journals and Communication», **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc32.htm#(PMC32).6**, 5. < <

[22] Entrevista de William Aspray con Albert Tucker, 11 de abril de 1984, «Fine Hall», **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc30.htm-(PMC30).9**, 7. < <

[23] Entrevista de William Aspray con Stephen C. Kleene y J. Barkley Rosser, 26 de abril de 1984, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc23.htm**, 6. < <

[24] Entrevista con Kleene y Rosser, 8. <<

[25] Rota, «Fine Hall», 2. < <

[26] Kleene, «Origins of Recursive Function Theory», *Annals of the History of Computing* 3, n.º 1 (ene. 1981): 62. <<

[27] Ibíd., 61 < <

[28] Turing, «Computability and λ-definability», *Mathematical Logic*, 59. <<

[29] Entrevista de William Aspray con Alonzo Church, 17 de mayo de 1984, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc05.htm**, 10. < <

[30] Ibíd., 9 < <

[31] S. Turing, *Alan M. Turing*, 51. < <

[32] Turing Archive, AMT/K/1/41, 8 de septiembre de 1936. < <

[33] Ibíd., AMT/K/1/42, 6 de octubre de 1936. < <

[340] Gandy, «Confluence of Ideas in 1936», 59. < <

[35] Turing Archive, AMT/K/1/43, 14 de octubre de 1936. < <

[36] *A Princeton Companion*, **http://etc.princeton.edu/CampusWWW/Companion/veblenoswald.html**. < <

[37] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[38] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[39] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[40] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[41] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[42] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[43] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[44] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm,** 10. < <

[45] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[46] Entrevista de Frederick Nebeker con Shaun Wylie, 21 de junio de 1985, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc45.htm**, 10. < <

[47] Entrevista de William Aspray con Joseph Daly y Churchill Eisenhart, 10 de julio de 1984, **http://libweb.princeton.edu/libraries/firestone/rbsc/finding_aids/mathoral/pmc07.htm**, 4. < <

[48] Turing Archive AMT/K/1/57, 29 de marzo de 1937. < <

[49] Alonzo Church, reseña de «On Computable Numbers, with an Application to the *Entscheidungsproblem*». *Journal of Symbolic Logic* 2, n.º 1 (marzo 1937): 43. < <

[50] Aspray/Kleene/Rosser, PMC23, 10. < <

[51] Turing Archive AMT/K/1/51, 1 de enero de 1937. < <

[52] Ibíd., Turing Archive AMT/K/1/56, 22 de febrero de 1937. <<

[53] Ibíd., AMT/K/1/59, 19 de mayo de 1937. < <

[54] Marcus Du Sautoy, *The Music of the Primes: Searching to Solve the Greatest Mystery in Mathematics* (New York: HarperCollins, 2003), 188. <<

[55] Hardy, *Ramanujan* (Cambridge: Cambridge University Press, 1940), 17. < <

[56] Feferman, «Turing in the Land of O(z)», 110. < <

[57] Hodges, *Enigma*, 118. <<

[58] Hardy, *A Mathematician's Apology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1967), 119-120. < <

[59] Ibíd., 140. <<

[60] Ibíd., 121. <<

[61] Turing Archive, AMT/K/1/43, 14 de octubre de 1936. < <

[62] Citado por Hodges, *Enigma*, 138. < <

[63] Kleene, «General Recursive Function», 59. < <

[64] Kleene, «General Recursive Function», 59. < <

[65] Kleene, «General Recursive Function», 59. < <

[66] Kleene, «General Recursive Function», 59. < <

[67] Kleene, «General Recursive Function», 59. < <

[68] Kleene, «General Recursive Function», 59. < <

[69] Kleene, «General Recursive Function», 59. < <

5. La piel tierna

[1*] A Hardy, aunque no participara en el seminario, se le citaba a menudo como una especie de encarnación del pensamiento matemático tradicional; A Wittgenstein le interesaba particularmente la distinción que hacía Hardy entre «saber» y «creer en» un teorema o hipótesis matemática tal como la conjetura de Goldbach. Le gustaba dar la vuelta a las ideas de Hardy sobre qué es una demostración, como en este pasaje de la lección número catorce: «El profesor Hardy dice que el teorema de Goldbach o bien es verdadero o bien es falso. Nosotros decimos que, simplemente, aún no se ha construido la carretera. De momento tenéis el derecho a afirmar cualquiera de las dos cosas; tenéis derecho a postular que es verdadero o que es falso. Si lo miráis de esta manera, toda la concepción de la matemática como la física de las entidades matemáticas se viene abajo. Pues qué carretera se construya no es algo que esté determinado por la física de las entidades matemáticas sino por unas consideraciones totalmente diferentes»**[19]**. < <

[2*] De hecho, al rodar la película *Enigma* (una película, dicho sea de paso, notoria por la ausencia de personaje alguno de nombre Turing), Michael Apted se decantó por otra casa de campo a la hora de rodar los exteriores. < <

[3*] Existe traducción española: *Los códigos secretos: el arte y la ciencia de la criptografía, desde el antiguo Egipto a la era Internet*, Simon Singh, trad. Moraza Pérez, José Ignacio, Debate, 2000. < <

[4*] Las principales fuentes consultadas para lo que sigue son *Los códigos secretos* de Singh, *Battle of Wits*, de Budiansky. < <

[5*] Simon Singh observa que ninguna de estas máquinas tuvo excesivo éxito, y que el fracaso más espectacular fue el de la versión americana, «la esfinge del inalámbrico» **[38]** de Edward Hebern. < <

[6*] Como observa Hodges, esta práctica de incorporar el código indicado **[40]** al mensaje era análoga a la idea de Turing de expresar instrucciones en el mismo lenguaje matemático como procesos en la máquina universal. < <

[7*] Juego parecido al béisbol. *(N. del T.)*. < <

[8*] En el otoño de 1941, sin embargo, los problemas administrativos, la falta de espacio para tantas personas y el mal estado de las conducciones del agua, entre otras cosas, movieron a Turing a escribir, conjuntamente con Welchman y otros dos colegas, una carta a Winston Churchill para solicitarle ayuda. La respuesta de Churchill fue pronta y favorable: «Asegúrese de que se les proporciona todo lo que piden con la máxima prioridad e infórmeme de ello cuando se haya hecho» **[41]**. < <

[1] Hodges, *Enigma*, 148-149. < <

[2] Ibíd., 149. < <

[3] Ibíd., 151. < <

[4] Citado en ibíd., 155. <<

[5] Du Sautoy, *Music of the Primes*, 188. < <

[6] Hodges, *Enigma*, 156. < <

[7] Ibíd., 152. < <

[8] Norman Malcolm, *Ludwig Wittgenstein: A Memoir* (London: Oxford University Press, 1958), 23. <<

[9] Ibíd., 24. < <

[10] Ibíd., 24-25. < <

[11] Ibíd., 25. < <

[12] Ibíd., 25-26. < <

[13] Ibíd., 26-27. < <

[14] Casti y de Pauli, *Gödel*, 71-72. < <

[15] *Wittgenstein's Lectures on the Foundations of Mathematics, Cambridge*, 1939, ed. Cora Diamond (Chicago: University of Chicago Press, 1989), 20. < <

[16] Ibíd., 139. <<

[17] Ibíd., 67. <<

[18] Ibíd., 199. <<

[19] Ibíd., 138-139. < <

[20] Ibíd., 115. <<

[21] Ibíd., 31. < <

[22] Ibíd., 36-37. < <

[23] Ibíd., 37. < <

[24] Ibíd., 96-97. < <

[25] Ibíd., 206-207. < <

[26] Ibíd., 210-211. < <

[27] Ibíd., 212. <<

[28] Ibíd., 216. <<

[29] Ibíd., 217. <<

[30] Ibíd., 218. <<

[31] Ibíd., 219-220. < <

[32] Ibíd., 103. < <

[33] Ibíd., 201. < <

[34] Ibíd., 212. <<

[35] Stephen Budiansky, *Battle of Wits: The Complete Story of Codebreakingin World War II* (New York: Touchstone, 2000), 118. <<

[36] David Russo, *Architecture and the Architect*, **http://www.utdallas.edu/~dtr021000/cse4352/architects.doc**.
< <

[37] Budiansky, *Battle of Wits*, 67. <<

[38] Singh, *The Code Book: The Secret History of Codes and Codebreaking* (London, Fourth Estate), 138. <<

[39] Ibíd., 136. < <

[40] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[41] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[42] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[43] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[44] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[45] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[46] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[47] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[48] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[49] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[50] Hodges, *Enigma*, 164. <<

[51] Ibíd., 68. <<

6. El atleta electrónico

[1*] El ACE también utilizaba subrutinas, como todas las máquinas modernas. El EDVAC no lo hacía. Otra innovación que no aparece en el informe del EDVAC son las «Instrucciones Abreviadas para la Computadora» de Turing, una modalidad temprana de lenguaje de programación. Quiero darle las gracias a Prabhakar Ragde por llamarme la atención sobre estas distinciones. < <

[2*] Esto también sería cierto de las llamadas *Johnniacs*, las máquinas de estilo Von Neumann inspiradas más tarde por el EDVAC. < <

[3*] Literalmente, «ENTERRAR» y «DESENTERRAR», respectivamente. (*N. del T*). < <

[4*] En sus memorias, la señora Turing recordaba: «Lo máximo que contaba Alan acerca de su trabajo durante la guerra es que tenía a unas cien chicas bajo su mando. Conocimos a una de estas "esclavas", como él las llamaba. De ella procedió la información de que estaban maravilladas con su temeridad al saludarle el día de Navidad con un "Feliz Navidad, Alan", pues le tenían un respeto reverencial, en gran parte porque cuando entraba a toda prisa a su parte del edificio con algún asunto entre manos, nunca daba la menor muestra de reparar siquiera en ellas. Lo cierto es que probablemente ellas le inquietaban en idéntica medida» **[34]**. <<

[5*] Más tarde, a Wilkes se le atribuyó la invención de la microprogramación, por la cual obtuvo el Premio Turing, el más alto honor que otorga la *Association for Computing Machinery* al trabajo de toda una vida. < <

[6*] Juguetes parlantes que recuerdan a aquellos adorables animalitos que se convertían en gremlins en la película del mismo título. (*N. del T.*). < <

[7*] El «teorema de los cuatro colores», demostrado en 1997, sostiene que cuatro colores bastan para colorear cualquier mapa sobre un plano, de tal manera que dos regiones diferentes cualesquiera del mapa con una frontera común no tengan el mismo color. < <

[8*] Turing altera la historia ligeramente por conveniencias de su argumento. De acuerdo con la versión original, el maestro de Gauss le pidió que sumase todos los números entre el 1 y el 100. Su estrategia para dar con la respuesta correcta —5.050— fue dividir los cien números en cuestión en las parejas 1 + 100, 2 + 99, 3 + 98, 4 + 97, etc., creando así cincuenta parejas, cada una de las cuales sumaría 101. Después, Gauss multiplicó 50 × 101, obteniendo así la respuesta correcta. < <

[9*] Que Turing consideraba anticristianas sus ideas queda confirmado por el título de una conferencia que dio en 1951 en Manchester, «Intelligent Machinery, a Heretical Theory». < <

[1] Hodges, *Enigma*, 267n. <<

[2] Ibíd., 249. < <

[3] Irvine, prólogo a S. Turing, *Alan M. Turing*; xii. <<

[4] Hodges, *Enigma*, 284. < <

[5] Forster, *Maurice*, 218. < <

[6] Ibíd., 221-222. < <

[7] Otado en Hodges, *Enigma*, 373. < <

[8] Citado Ibíd., 306. < <

[9] Mary Bellis, «Inventors of the Modern Computer», **http://inventors.about.com/library/weekly/aa060298.htm**. 1. < <

[10] Martin H. Welk, «The ENIAC Story», http://ftparl.mil/~mike/comphist/eniacstory.html, 1. < <

[11] Turing, «Maquinaria inteligente», en *Mechanical Intelligence*, ed. D. C. Ince (Amsterdam: North-Holland, 1992), 115. < <

[12] John von Neumann, «First Draft of a Report on the EDVAC», 30 de junio de 1945, 3. < <

[13] Turing, «Proposal for Development in the Mathematics Division of an Automatic Computing Engine (ACE)», *Mechanical Intelligence*, 1. < <

[14] Ibíd., 2. < <

[15] Turing, «Lecture to the London Mathematical Society on 20 February 1947», *Mechanical Intelligence*, 104. < <

[16] Ibíd., 88. <<

[17] Ibíd., 89. <<

[18] Ibíd., 88. < <

[19] Ibíd., 89. < <

[20] *Wittgenstein s Lectures*, 20. < <

[21] Turing, «Lecture to the London Mathematical Society», 103. <<

[22] Ibíd., 104-105. < <

[23] Ibíd., 105. <<

[24] Ibíd., 102. < <

[25] Ibíd., 87. < <

[26] Turing, «Report on the ACE», *Mechanical Intelligence*, 20-22. <<

[27] Turing, «Lecture to the London Mathematical Society», 87. < <

[28] Turing, «Report on the ACE», 8. <<

[29] Turing, «Lecture to the London Mathematical Society», 89. < <

[30] Ibíd., 84. <<

[31] Turing, «Report on the ACE», 20. < <

[32] Ibíd., 17. <<

[33] Ibíd., 25. <<

[34] S. Turing, *Alan M. Turing*, 70. < <

[35] *Enigma*, 335. <<

[36] Ibíd., 111. < <

[37] Citado en Ibíd., 79. < <

[38] Ibíd., 80. < <

[39] Citado en Ibíd., 81. < <

[40] Citado en ibíd. < <

[41] Citado en Hodges, *Enigma*, 352. < <

[42] Citado en ibíd., 353. < <

[43] Citado en ibíd., 353. < <

[44] Davis, *Engines*, 189. < <

[45] Citado en Hodges, *Enigma*, 408. < <

[46] Davis, *Engines*, 192. < <

[47] Citado en ibíd., 193. < <

[48] S. Turing, *Alan M. Turing*; 86-87. < <

[49] Citado en ibíd., 87. < <

[50] Ibíd., 88. < <

[51] **http://www.computer50.org/mark1/newman.html**, 2.
< <

[52] Hodges, *Enigma*, 341. <<

[53] Ibíd., 375. <<

[54] Citado en Ibíd. < <

[55] Turing, «Maquinaria Inteligente», 107. < <

[56] Ibíd., 107-108. < <

[57] Ibíd., 108. < <

[58] Ibíd. < <

[59] Ibíd., 108-109. < <

[60] Ibíd., 107. <<

[61] Ibíd., 109. <<

[62] Ibíd. < <

[63] Ibíd. < <

[64] Ibíd., 110. <<

[65] Ibíd. 116-117. < <

[66] Ibíd., 117. < <

[67] Ibíd. < <

[68] Ibíd., 121. <<

[69] Ibíd., 125. <<

[70] Ibíd., 123. < <

[71] Ibíd., 117. < <

[72] Ibíd., 127. <<

7. El juego de imitación

[1*] Con posterioridad, Julia Robinson demostró que $2^{521} - 1$ era, en realidad, primo. <<

[2*] Es posible que Turing estuviese pensando en Trethowan cuando al final de su conferencia de 1951 en Manchester comentó: «Sería bastante laborioso tratar de mantener el propio nivel de inteligencia al nivel del de las máquinas, pues parece probable que en cuanto comenzase el método de pensamiento de éstas, no les llevaría mucho tiempo sobrepasar nuestros endebles poderes. No se plantearía el problema del fallecimiento de las mismas, y serían capaces de conversar unas con otras para agudizar su ingenio. En algún momento, por consiguiente, deberíamos esperar que las máquinas tomasen el control, del modo descrito en el *Erewhon* de Samuel Butler»**[16]**. < <

[3*] Para un interesante análisis de la imaginería asociada a la piel —la cual abunda— en el artículo de Turing, véase Jean Lasségue, «What kind of Turing Test Did Turing Have in Mind?» **http://tekhnema.free.fr/Lasseguearticle.html**. < <

[4*] Turing se expresó en un lenguaje similar durante una mesa redonda de 1952 en la BBC, en el transcurso de la cual, como ejemplo del tipo de pregunta a emplear en el juego de las imitaciones, propuso lo siguiente: «Supongamos que usted sólo simula ser un hombre». En tal caso, «a la máquina se le permitirían toda clase de trucos para aparentar ser más como un hombre…». <<

[5*] En *Maurice*, el héroe le pregunta a Alec, «Scudder, ¿por qué cree usted que es “natural” que a uno le gusten tanto los hombres como las mujeres? Así lo escribió usted en su carta. Para mí no lo es. Realmente he de pensar que “natural” sólo se refiere a uno mismo»**[24]**. < <

[6*] En 1952, cuando fue entrevistado por la BBC, el cálculo había aumenta < <

[7*] Véase Lassègue, «¿en qué clase de test Turing pensaba Turing?», para una interesante discusión del papel que quizá desempeñara Christopher Morcom —incluso de forma subliminal— en el artículo. <<

[1] Citado en Hodges, *Enigma*, 391. <<

[2] *Los emigrados*, W. G. Sebald, [tras. Ruiz Rosas, Teresa] Barcelona 1996, Editorial Debate. < <

[3] Turing, «Programmer's Handbook (2nd Edition) for the Manchester Electronic Computer Mark II», **http://www.computer50.org/mark1/program.html**, 3 < <

[4] Martin Campbell-Kelly, «Turing's Papers on Programming», *Mathematical Logic*, 244. < <

[5] Ibíd., 245. < <

[6] Ibíd. < <

[7] Hodges, *Enigma*, 398 < <

[8] Citado en ibíd., 402; de una entrevista con Martin Campbell-Kelly. < <

[9] *British Medical Journal*, 25 de junio de 1949; citado en Hodges, *Enigma*, 405. < <

[10] «No Mind for Mechanical Man», *Times*, (London), 10 de junio de 1949, 2. < <

[11] «The Mechanical Brain», *Times*, (London), 11 de junio de 1949, 4. < <

[12] S. Turing, *Alan M. Turing*, 91. < <

[13] «The Mechanical Brain», 4. < <

[14] «The Mechanical Brian: Succesful Use of Memory-Storage», *Times*, (London), 14 de junio de 1949, 5. < <

[15] Illtyd Trethowan, carta al director, *Times*, (London), 11 de junio de 1949, 5. < <

[16] «Intelligent Machinery: A Heretical Theory», en S. Turing, *Alan M. Turing*, 133-134. <<

[17] «Umbrage of Parrots», *Times*, (London), 16 de junio de 1949, 5.
< <

[18] Turing, «Computing Machinery and Intelligence», 133. < <

[19] Ibíd., 133-134. < <

[20] Hodges, *Natural Philosopher*, 38. <<

[21] Turing, «Computing Machinery and Intelligence», 134-135. < <

[22] Ibíd., 135. <<

[23] Turing Archive, AMT/B/6, 6. < <

[24] Forster, *Maurice*, 194. < <

[25] Turing, «Computing Machinery and Intelligence», 138. < <

[26] Turing, «Computing Machinery and Intelligence», 138. < <

[27] Ibíd., 142. <<

[28] Ibíd., 143. <<

[29] Ibíd. < <

[30] Ibíd., 144. < <

[31] Ibíd., 145. < <

[32] Ibíd., 146. <<

[33] Ibíd. < <

[34] Ibíd. < <

[35] Ibíd., 147. <<

[36] Ibíd., 147-148 (con algunos leves cambios de puntuación). < <

[37] Ibíd., 148. < <

[38] Citado en **http://www.outmartmagazine.com/issue/i06-02/tonycurtis/php**. < <

[39] Turing, «Computing Machinery and Intelligence», 148 < <

[40] Ibíd., 149. <<

[41] Ibíd. < <

[42] Ibíd., 150. <<

[43] Ibíd., 151. <<

[44] Ibíd., 152. < <

[45] Ibíd., 153. < <

[46] Ibíd., 153. < <

[47] Ibíd. < <

[48] Ibíd., 153-154. < <

[49] Ibíd., 157. <<

[50] Ibíd. < <

[51] Ibíd., 156. < <

[52] Ibíd. < <

[53] Ibíd., 158. < <

[54] Ibíd. < <

[55] Ibíd., 160. <<

[56] Hodges, *Enigma*, 447. <<

[57] Turing, «Some Calculations of the Riemann Zeta-Function», *Pure Mathematics, 97*. < <

8. La boya de Pryce

[1*] Como explicó Newman, «Turing había llegado a las ecuaciones diferenciales de la forma $\Delta^2 x_i$ para n morfogenes distintos en tejido continuo; donde f_i es la función de reacción dada la tasa de crecimiento de X_i, y

$$\frac{dx}{dt} = f_i(x_i, \ldots, x_n) + \mu \Delta^2 x_i$$

la tasa de difusión de X_i». **[10]** También tuvo en cuenta las ecuaciones correspondientes para un conjunto de células discretas. < <

[2*] *Boy* (muchacho) y *buoy* (boya) son homófonos. *(N. del T.)*. < <

[3*] Cabe suponer que la carta de Alexander fuera censurada debido a que seguía trabajando para el gobierno en proyectos de criptoanálisis. < <

[4*] Arthur Stanley Eddington (1882-1944), físico matemático con quien Alan Turing estudió en Cambridge. < <

[1] S. Turing, *Alan M. Turing*, 103. < <

[2] Turing Archive, AMT/B/6, 26. < <

[3] Ibíd., 23. < <

[4] Ibíd., 33. < <

[5] Ibíd., 20. < <

[6] Ibíd., 28. < <

[7] Ibíd., 29. < <

[8] Hodges, *Enigma*, 452 < <

[9] Turing Archive, AMT/B/6, 36. < <

[10] Newman, «Royal Society Memoir», 278. < <

[11] Turing Archive, AMT/B/6, 5. < <

[12] S. Turing, *Alan M. Turing*, 92. < <

[13] Hodges, *Enigma*, 450. <<

[14] Ibíd., 454. <<

[15] Ibíd., 455. <<

[16] Forster, *Maurice*, 193. < <

[17] Ibíd., 196. <<

[18] Hodges, *Enigma*, 456. <<

[19] Turing Archive, AMT/D/14a, 1952. < <

[20] Turing Archive, AMT/D/14a, 1953. < <

[21] Turing Archive, AMT/A/13, sin fecha. < <

[22] Ibíd. < <

[23] Ibíd. < <

[24] Ibíd. < <

[25] Ibíd. < <

[26] Ibíd. < <

[27] Ibíd. < <

[28] Ibíd. < <

[29] AMT/A/15, 6 de junio de 1954. < <

[30] AMT/A/16, 1 de mayo de 1955. < <

[31] AMT/A/17, 13 de junio de 1954. < <

[32] AMT/A/17, 18 de agosto de 1954. < <

[33] AMT/A/23, 24 de septiembre de 1960. < <

[34] «The Letter Written by Robin Gandy to Max Newman in June 1954», *Mathematical Logic*, 267. < <

[35] Ibíd., 266. < <

[36] Hardy, *Apology*, 70. < <

[37] Hodges, *Enigma*, 129. <<